

Оценка трансформации ландшафтов регионов нового освоения на основе спутниковых данных (на примере Хабаровского края)

А. В. Остроухов

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, 680000, Россия
E-mail: Ostran2004@bk.ru*

На основе ландшафтной карты территории, данных проектов FIRMS (*англ.* Fire Information for Resource Management System) MODIS Collection 6 и GFC (*англ.* Global Forest Change) разработана и апробирована методика классификации ландшафтов территории регионов нового освоения по степени и масштабу антропогенной трансформации. Особенностью таких регионов является то, что антропогенная деятельность не приводит к формированию больших площадей селитебно-промышленных и сельскохозяйственных ландшафтов, доля которых традиционно используется для оценки степени преобразованности природной среды. Результаты оценки степени трансформации территории Хабаровского края отражают современный уровень преобразованности ландшафтов территории в 60,67 %, из которых только 0,33 % относится собственно к антропогенным: селитебно-промышленным и сельскохозяйственным. Доля сохранившихся коренных природных ландшафтов составляет 39 %, варьируя в ландшафтах разных природных зон от 71,7 % (от площади зоны) для ландшафтов тундр до 31,8 % для лесных геосистем. Наряду с основными параметрами (индекс вида ландшафта, площадь, масштаб и степень трансформации) атрибутивная таблица полученной карты содержит дополнительные характеристики ландшафтного покрова территории, отражающие её физико-географическое районирование, зонально-секторную и высотно-поясную структуру и др. Всё это даёт возможность расширенного анализа количественных и качественных показателей трансформации ландшафтов, детального анализа пространственных особенностей и результатов антропогенного преобразования территории.

Ключевые слова: трансформация ландшафтов, Global Forest Change, регионы нового освоения, Хабаровский край, лесовосстановление

Одобрена к печати: 28.01.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-85-98

Введение

Вопросы изменения природной среды под влиянием антропогенной деятельности были и остаются в фокусе современной географической науки. В настоящее время как в России (Атутова, 2017; Горохов, 2022; Занозин и др., 2020), так и в мире (Гусев, 2015; Batar et al., 2017; Chakma et al., 2023; Cheng et al., 2023; Musavandalo et al., 2024) накоплен значительный опыт проведения работ по оценке влияния антропогенной деятельности на отдельные компоненты геосистем и ландшафт в целом. Однако единой методологической основы и методики оценки экологического состояния территории пока нет. В зависимости от целей, степени изученности, специфики освоения территории, масштаба исследований отмечается большое разнообразие в оперативно-территориальных единицах, исходных данных, критериях оценивания последствий хозяйственной деятельности для ландшафтного покрова.

В различных работах, выполненных на глобальном (Galiatsatos et al., 2020), региональном (Андреев, 2012; Гусев, 2015; Курбатова и др., 2021; Musavandalo et al., 2024), регионально-локальном (Атутова, 2017; Горохов, 2022) и локальном (Корниенко, 2009) уровне, оперативно-территориальными единицами исследований выступают ландшафтные выделы различного ранга (Истомина, 2017) и единицы физико-географического районирования (Атутова, 2017; Терехин, 2017), речные бассейны (Бешенцев, 2011; Елсаков, Щанов, 2016; Cornejo-Denman et al., 2020), административные выделы от уровня муниципальных образований и поселений (Осипов, Гуров, 2022) до административного района (Батхиев и др.,

2017; Ухатина, Курганович, 2023), субъекта государства (Борисенко, 2015; Соколов, 2017; Musavandalo et al., 2024) или региона в целом (Гусев, 2015).

Не меньшее разнообразие отмечается и в исходных данных, лежащих в основе исследования, где в качестве базовой информации для оценки степени и характера преобразованности природной среды применяются:

- качественные характеристики изменений в ландшафтах и их отдельных компонент (Атутова, 2017; Чендев и др., 2008), описание антропогенной деятельности (Алексеев и др., 2010);
- количественные показатели освоенности территории как статистические (площадь сельскохозяйственных угодий (Водопьянова и др., 2018; Марцинкевич и др., 2010), плотность населения и дорог (Борисенко, 2015), количество населённых пунктов (Николаишвили, 2008) и др.), так и площадные, главным образом пространственная структура ландшафтов (геосистем, категорий земель) разного уровня преобразованности (Сурков и др., 2024) и их динамика (Истомина, 2017).

Чаще всего нарушенность ландшафтов определяется по соотношению суммы площади нарушенных ландшафтов с их весовыми коэффициентами к площади природных ландшафтов (на региональном уровне — физико-географических районов, локально-региональном — типологических комплексов в пределах определённого физико-географического района) (Горохов, 2022; Кочуров, 1999; Соколов, 2017). Кроме того, дополнительно к площадной структуре для оценки пространственного распределения преобразованных геосистем нашли применение и различные ландшафтные метрики, такие как ландшафтный индекс формы (*англ.* Landscape Shape Index) и др. (Гусев, 2015; Batar et al., 2017; Cornejo-Denman et al., 2020; Latorre-Cárdenas et al., 2023).

Активное развитие средств и методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и накопленные более чем за 50 лет архивы данных позволили реализовать огромное количество работ, где в качестве основы оценки степени трансформации территории и интенсивности процессов освоения применяются количественные и пространственные характеристики наземного покрова (Занозин и др., 2020). Причём критериями оценки выступает не только отношение площадей геосистем различного уровня трансформации, полученное в результате обработки данных ДЗЗ (оперативных и архивных) (Занозин и др., 2020; Biratu et al., 2022), но и производные данные, рассчитанные на основе мультиспектральных спутниковых снимков, — вегетационные индексы, такие как NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index) (наиболее распространённый), EVI (*англ.* Enhanced Vegetation Index) и ряд других (Гусев, 2020; Cheng et al., 2023), готовые продукты обработки Land Use/Cover, GFC (*англ.* Global Forest Change) (Владимиров, 2018; Елсаков, Щанов, 2016; Пуреховский и др., 2022; Стрельцова, Архипова, 2021; Ухатина, Курганович, 2023; Chakma et al., 2023; Hansen et al., 2013).

С точки зрения территориального охвата большинство работ выполнено для староосвоенных регионов (Занозин и др., 2020; Калинин и др., 2016; Терехин, 2017) или для отдельных районов регионов нового освоения с интенсивной хозяйственной деятельностью (Алексеев и др., 2010; Корниенко, 2009; Лавриненко, 2018), где экологические проблемы проявляются наиболее остро. В этом случае площадная структура наземного покрова и её динамика наглядно отражают последствия и масштабы деятельности человека. Этот параметр используется авторами как напрямую (Сурков и др., 2024), так и применяется для классификации антропогенной трансформации ландшафтов по их генезису, степени преобразования горизонтальной и вертикальной структуры, территориальной формы производственной деятельности и другим признакам (Лавриненко, 2018; Николаишвили, 2008). Так, в классификации А. М. Рябчикова (1972) по степени изменений структуры естественных ландшафтов хозяйственной деятельностью выделяются шесть групп ландшафтов: искусственные, преобразованные или культурные, сильно нарушенные, нарушенные, слабо изменённые и практически неизменённые. Более укрупнённые градации ландшафтов предложил А. Г. Исаченко (1991). Он выделяет четыре категории: условно неизменённые (первобытные), слабоизменённые, нарушенные (сильно изменённые) и культурные ландшафты.

Однако опыт реализации оценочных работ для регионов нового освоения показывает, что зачастую интенсивная хозяйственная деятельность, связанная с ресурсопользованием (главным образом минерально-сырьевым и лесопользованием), далеко не всегда приводит к полной трансформации геосистем и формированию сельскохозяйственных, селитебно-промышленных и других искусственных, преобразованных или сильно нарушенных ландшафтов (Горохов, 2022; Сурков и др., 2024). Вместо этого в результате ресурсного освоения территории и связанного с этим пирогенного воздействия происходит трансформация растительного покрова и формирование производных (не определённых зональными и высотно-поясными факторами) растительных сообществ (Терехин, 2017). В итоге именно растительность выступает хорошим индикатором состояния окружающей природной среды, ведь именно она быстрее всех реагирует на воздействие различных антропогенных факторов (Владимиров, 2018; Терехин, 2017).

Таким образом, вопрос о разработке методики оценки степени антропогенной трансформации территории регионов нового освоения ещё требует дальнейшего развития и обсуждения (Горохов, 2022).

Одним из таких слабоосвоенных регионов РФ, характеризующийся крайне малой площадью сельскохозяйственных и селитебно-промышленных земель при интенсивном использовании территории в лесопромышленных целях и большим масштабом разработки минерально-сырьевых ресурсов, является Хабаровский край, освоение которого сопровождается высоким пирогенным прессом на растительный покров. Площадь региона исследований — 787,6 тыс. км², при этом по состоянию на 1 января 2024 г. 730,5 тыс. км² относится к землям лесного фонда, но лишь 525,4 тыс. км² покрыта лесом (лесистость территории — 66,7 %), а из 205,1 тыс. км² лесных земель, не занятых лесом, лишь 22,6 тыс. км² относится к естественным рединам (https://les.khabkrai.ru/Forest_Information/Opendata).

Материалы и методы

Основой для оценки степени и масштабов антропогенной трансформации территории послужила авторская карта ландшафтов Хабаровского края в масштабе 1:500 000, реализованная в виде ГИС-проекта в программной среде ArcGIS 10.8. Она отражает 378 видов ландшафтов, представленных на ландшафтной карте (19 168 отдельных выделов), относящихся к 40 видовым группам девяти подклассов пяти классов ландшафтов. Ландшафтные выделы, приведённые на карте, выступают операционно-территориальными единицами пространственного анализа, и одновременно данные атрибутивной таблицы карты используются как важный источник информации о современном состоянии и степени преобразованности растительного покрова — основного компонента ландшафтов, затронутого хозяйственной деятельностью, изменения которого могут быть отражены на карте среднего масштаба для территории края в целом.

В классификации наземного покрова, разработанной для карты Хабаровского края, отражены группы типов и типы леса по лесной типологии или классы ассоциаций в соответствии с эколого-фитоценотическим подходом. Естественный растительный покров классифицирован с учётом зональных и высотно-поясных признаков. В силу высокой мозаичности растительного покрова в пределах равнин и речных долин, определённой контрастностью условий увлажнения, наряду с относительно однородными растительными контурами, такими как лиственничные, кедрово-еловые и другие леса, на карте представлены и сочетания комплексов наземного покрова, например редкостойные лиственнично-мелколиственные леса с участками заболоченных лугов и евтрофных болот. Более детально методика построения среднемасштабной ландшафтной карты территории края или отдельных его регионов отражена в предыдущих публикациях авторов ((Климина, Остроухов, 2016; Остроухов, 2018; Остроухов, Климина, 2020) и др.).

Для территории края на основе обработки данных проектов Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Version 3 Globe 2015–2019 с пространственным разрешением

100 м/пиксель, ESA World-Cover 10 m 2020 v100 с пространственным разрешением 10 м/пиксель с дополнительной корректировкой по снимкам со спутников Landsat-5, -7, -8, -10 и Sentinel-2, а также по экспедиционным и опубликованным материалам выделены 25 видов наземного покрова.

Достаточная детальность представленных на ландшафтной карте категорий растительности позволяет провести их классификацию в зависимости от степени преобразованности. К коренному типу растительного покрова отнесены зональные и высотно-поясные растительные сообщества — тундры, кедрово-стланиковые заросли с ольховником и ёрником, иногда с участками горных тундр и высокогорными березняками, не испытавшие пирогенного воздействия хвойные леса (лиственничные, елово-пихтовые, елово-лиственничные и др.), кедрово-широколиственные леса. В качестве производных (вторичных) растительных сообществ рассматриваются хвойно-мелколиственные, лиственнично-мелколиственные и мелколиственные леса, в том числе молодые на месте гарей и рубок, а также лугово-кустарниковые, кустарниковые, редколесно-кустарниковые постпирогенные сообщества. К антропогенным растительным формациям отнесены селитебно-промышленные (не разделённые в масштабе карты селитебные, селитебно-промышленные и промышленные, в том числе горнорудные) земли, сельскохозяйственные угодья и мелиоративные системы.

В связи со значительной ролью рубок и ландшафтных пожаров в трансформации ландшафтов территории для оценки масштабов и последствий воздействия этих факторов применялись данные о количестве горячих точек (*англ.* hotspot — HS) с сайта FIRMS (*англ.* Fire Information for Resource Management System) MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Collection 6 за 2012–2023 гг. (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/download/>) и материалы проекта GFC за 2000–2023 гг. (Hansen et al., 2013). Использование последнего обусловлено достаточно высокой точностью результатов, в среднем составляющей 6 % (Онтиков и др., 2016; Щепашенко и др., 2015; Galiatsatos et al., 2020). Это подтверждается и данными сравнения материалов проекта GFC для территории Хабаровского края с данными статистики ИСДМ-Рослесхоз (https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml) (*рис. 1*). Несколько меньшие (по сравнению с лесными пожарами) площади потерь леса объясняются тем, что далеко не все пожары (особенно в весенний период) приводят к уничтожению или отмиранию древесного яруса.

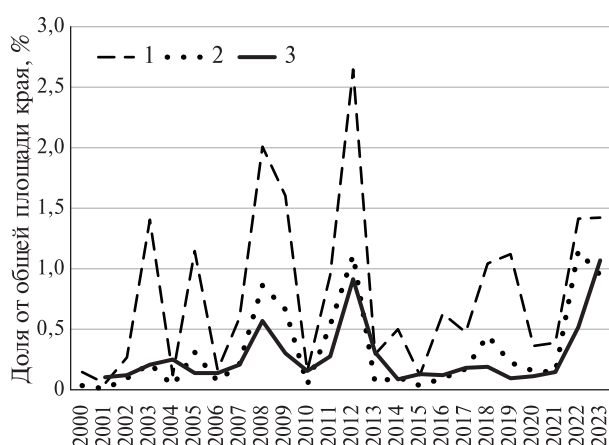


Рис. 1. Площади ландшафтных и лесных пожаров по данным ИСДМ-Рослесхоз (https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml) в сравнении с оценкой потерь леса по данным GFC (Hansen, 2013) за 2000–2023 гг. 1 — общая площадь пожаров по информации ИСДМ-Рослесхоз, 2 — площадь лесных пожаров по информации ИСДМ-Рослесхоз, 3 — площадь потерь лесной растительности

Данные о потерях и восстановлении леса и площади пожаров представлялись в растровом виде, далее методами зональной статистики модуля Spatial Analyst программного комплекса ArcMAP 10.8 для каждого ландшафтного выдела определялись площади, пройденные пожарами, потери и восстановление лесной растительности в абсолютном (гектар) и относительном (доля от площади ландшафта) виде.

В дальнейшем на основе атрибутивных характеристик ландшафтной карты и полученных величин проведена классификация трансформированных ландшафтов Хабаровского края.

Использовались следующие критерии классификации ландшафтов:

1. **По типу растительности:** тундровые и лесотундровые, лесные, нелесные (болотные, лугово-болотные, лесо-лугово-болотные комплексы), антропогенные.

Основание разделения: *Авторская карта «Ландшафты Хабаровского края»*.

2. **Степень преобразованности растительного покрова в ландшафте:** коренные (зональные и высотно-поясные), производные (вторичные), антропогенные.

Основание разделения: *Авторская карта «Ландшафты Хабаровского края»*.

3. **Вид и степень воздействия пожаров, рубок и иной антропогенной деятельности** (выделяемые в масштабе карты и возможные к идентификации на основе данных ДЗЗ). Параметры классификации приведены в *табл. 1*.

Таблица 1. Параметры классификации трансформированных ландшафтов по виду и степени воздействия пожаров, рубок и иной антропогенной деятельности

Класс ландшафтов по типу растительности в ландшафте и степень трансформации	Критерии выделения	
	Плотность горячих точек, шт./км ²	Площадь потерь леса, доля площади ландшафта, %*
<i>Тундровые и подгольцовые</i>		
не подвергавшиеся пирогенному воздействию	менее 0,1	—
подвергавшиеся пирогенному воздействию	более 0,1	
<i>Лесные</i>		
не затронутые рубками и пожарами	менее 0,1	менее 2
слабо фрагментированные рубками и небольшими пожарами	0,1–1,5	2–10
сильно фрагментированные рубками и небольшими пожарами	более 1,5	10–50
постпирогенные нелесные сообщества на месте лесов	Ландшафтное картирование**	более 50
<i>Нелесные (болотные, лугово-болотные, лесо-лугово-болотные комплексы)</i>		
не подвергавшиеся пирогенному воздействию	менее 0,1	—
подвергавшиеся пирогенному воздействию слабой интенсивности	0,1–1,5	
подвергавшиеся интенсивному пирогенному воздействию	более 1,5	
<i>Антропогенные</i>		
сельскохозяйственные	Ландшафтное картирование**	
селитебно-промышленные		

* Только для лесных ландшафтов.

** По авторской карте «Ландшафты Хабаровского края».

Так как разделение рубок, пожаров и последствий минерально-сырьевого ресурсопользования в масштабе карты 1:500 000 затруднено, они анализировались в совокупности по данным о потерях леса GFC.

Дополнительно, на основе отношения площадей восстановившейся и утраченной древесной растительности, в пределах ландшафтного контура по данным проекта GFC за 2000–2023 гг. оценивалась динамика лесного покрова по трёхбалльной шкале:

- 1 — с преобладанием процессов восстановления древесной растительности;
- 2 — стабильные сообщества;
- 3 — с преобладанием процессов потери древесной растительности.

За пороговые значения разницы «потери – восстановление» принят уровень $\pm 10\%$ от площади ландшафтного выдела.

Итоговые результаты классификации и оценки представлены в виде атрибутивной таблицы ландшафтной карты и картографически.

Результаты и обсуждения

На основе разработанной методики была выполнена классификация ландшафтов территории Хабаровского края по степени трансформации (рис. 2, табл. 2). Анализ полученных данных свидетельствует о том, что, хотя площадь полностью антропогенно преобразованных ландшафтов (селитебно-промышленных и сельскохозяйственных) очень мала и не превышает 0,3 % от территории края, доля коренных природных ландшафтов, не затронутых человеческой деятельностью, составляет 39 %. При этом степень сохранности сильно различается по типам растительности, изменяясь от 71,7 % (от площади типа) для ландшафтов тундр до 31,8 % для лесных геосистем (доля коренных лесов, не затронутых рубками и пожарами).

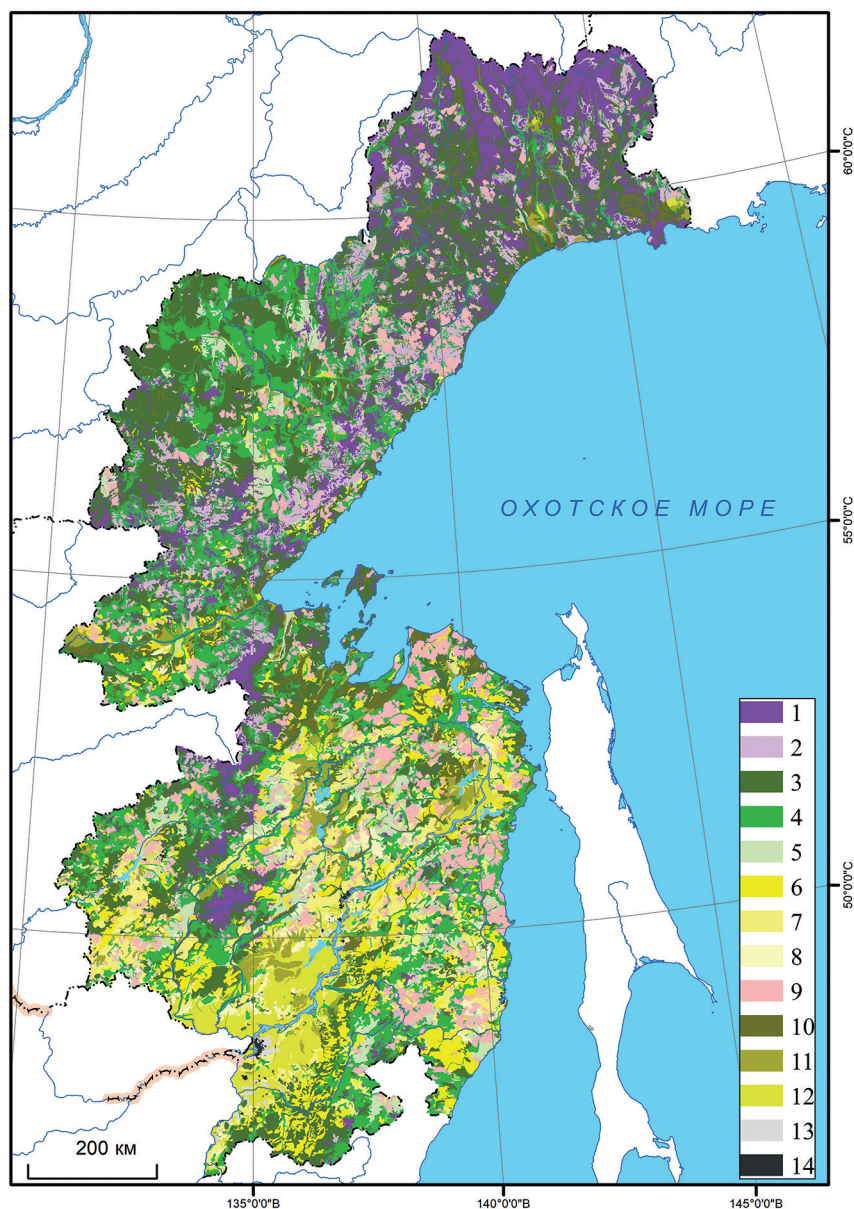


Рис. 2. Трансформация ландшафтов Хабаровского края. Условные обозначения см. в табл. 2

Таблица 2. Площади ландшафтов Хабаровского края с различными уровнями трансформации и показателями динамики древесной растительности, доля от площади края, %

№ п/п	Тип растительности и степень трансформации	Динамика древесной растительности			Всего
		1	2	3	
I	Тундровая и подгольцовая	—	17,19	—	17,19
	<i>Коренная растительность</i>		12,33		12,33
1	не подвергавшаяся пирогенному воздействию		12,33		12,33
	<i>Производная растительность</i>		4,85		4,85
2	подвергавшаяся пирогенному воздействию		4,85		4,85
II	Лесная	2,67	63,55	4,79	71,01
	<i>Коренная растительность</i>	0,33	44,15	4,03	48,50
3	не фрагментированная рубками и мелкими пожарами	0,22	22,39	—	22,61
4	слабо фрагментированная рубками и мелкими пожарами	0,11	21,31		21,42
5	сильно фрагментированная рубками и пожарами	—	0,44	4,03	4,47
	<i>Производная растительность</i>	2,34	19,40	0,77	22,51
6	не фрагментированная рубками и мелкими пожарами	0,91	5,31	—	6,23
7	слабо фрагментированная рубками и мелкими пожарами	1,06	4,96		6,02
8	сильно фрагментированная рубками и пожарами	0,01	0,79	0,77	1,57
9	постпирогенные нелесные сообщества на месте лесов	0,35	8,34	—	8,69
II	Не лесная (болотная, лугово-болотная, лесо-лугово-болотная комплексная)	0,08	10,53	0,86	11,48
	<i>Коренная растительность</i>	0,05	3,98	0,03	4,07
10	не подвергавшаяся пирогенному воздействию	0,05	3,98	0,03	4,07
	<i>Производная растительность</i>	0,03	6,55	0,83	7,41
11	подвергавшаяся пирогенному воздействию слабой интенсивности	0,03	2,55	0,44	3,02
12	подвергавшаяся интенсивному пирогенному воздействию	—	4,01	0,39	4,40
III	Антропогенная		0,33	—	0,33
13	сельскохозяйственная		0,19		0,19
14	селитебно-промышленная		0,14		0,14
	Итого	2,75	91,59	5,66	100,00

Примечание: Столбец 1 — с преобладанием процессов восстановления древесной растительности; 2 — стабильные сообщества; 3 — с преобладанием процессов утраты древесной растительности.

Пространственное распределение ландшафтов с различными уровнями трансформации отражает историю и степень освоенности территории. Большая часть слабоизменённых ландшафтов находится на севере края, характеризующемся крайне слабым уровнем освоения и низким хозяйственным значением лесов этой территории. Основной вид трансформации связан со значительными площадями пожаров, обусловленных как деятельностью человека (минерально-сырьевое, главным образом золотопромышленное ресурсопользование), так и спецификой погодных условий в летний период (большое количество сухих гроз). Суровые климатические условия определяют формирование на месте гарей длительно производных лугово-кустарниковых сообществ вместо кедрово-стланиковых лесов, редкостойных лиственничников, сосновых и лиственнично-сосновых лесов. Несмотря на широкое распространение здесь золоторудной промышленности, площади занятые карьерами и отвалами крайне малы, что связано с локальностью воздействия освоения месторождений россыпного типа (Mirzekhanova, Ostroukhov, 2018), в результате чего они не отражаются в масштабе карты

и анализируются в совокупности с растительным покровом, фрагментированным вследствие рубок и пожаров.

Южная часть края (бассейны реки Амур и Татарского пролива) отличается гораздо большим уровнем преобразованности ландшафтов. Высокое лесохозяйственное значение территории, занятой горно-таёжными светло- и темнохвойными лесами, в совокупности с более чем 100-летней историей освоения определили широкий спектр и масштаб изменений геосистем. Кроме свежих пожаров и рубок, значительные площади (31,7 % лесных ландшафтов, 22,5 % от площади края) заняты вторичными мелколиственными и хвойно-мелколиственными лесами.

На юге края в зоне кедрово-широколиственных лесов преобладающим типом воздействия являются выборочные рубки с изъятием особо ценных пород. Пирологические особенности растительности (малый запас сухих горючих материалов) ограничивают распространение пожаров. В результате на месте кедрово-широколиственных лесов сформировались обеднённые в видовом отношении широколиственно-мелколиственные леса с подростом хвойных пород.

Анализ полученных материалов говорит о том, что ландшафтные пожары широко распространены в нелесных геосистемах юга края, однако их воздействие (в весенний и осенний период года) достаточно быстро компенсируется сукцессионными процессами в луговых и лугово-болотных растительных сообществах и не приводит к смене растительного покрова, хотя и отражается в видовом составе растительных сообществ (Остроухов и др., 2020). Доля нелесных ландшафтов с различными уровнями трансформации достигает 64,6 % от площади таких геосистем.

Анализ динамики лесной растительности с 2000 г. по данным GFC показывает, что, несмотря на значительные усилия по восстановлению лесов (в 2023 г. площади лесопосадок в крае составили 76 285,2 га), в настоящее время наблюдается отрицательная динамика древесной растительности в лесных ландшафтах. Хотя для большей части ландшафтов края (91,59 %) характерно стабильное состояние, когда потери лесов компенсируются сукцессионными процессами, однако площади ландшафтов с преобладанием утраты древесной растительности (5,66 %) в два раза больше доли ландшафтов с доминированием лесовосстановления (2,75 %), что говорит о постепенном ухудшении экологического состояния территории.

Заключение

Таким образом, предложенная методика классификации трансформированных ландшафтов на основе данных проектов FIRMS и GFC может быть использована для оценки последствий хозяйственного освоения территорий регионов нового освоения, где антропогенная деятельность не приводит к формированию больших площадей селитебно-промышленных и сельскохозяйственных ландшафтов, доля которых традиционно используется для оценки степени преобразованности природной среды.

Результаты апробации методики для территории Хабаровского края отражают значительную степень преобразованности территории. Доля сохранившихся коренных природных ландшафтов составляет 39 %, при том что площадь селитебно-промышленных и сельскохозяйственных ландшафтов лишь 0,33 %, а доминирующие площади (более 60 %) занимают геосистемы, в той или иной степени трансформированные человеческой деятельностью. Степень сохранности зональных ландшафтов сильно разнится, изменяясь от 71,7 % (от площади типа) для ландшафтов тундр до 31,8 % для лесных геосистем (доля коренных лесов, не затронутых рубками и пожарами).

Использование в качестве пространственной основы анализа ландшафтной карты даёт дополнительные возможности по анализу полученных данных. Наряду с основными параметрами (индекс вида ландшафта, площадь, масштаб и степень трансформации) атрибутивная таблица полученной карты содержит дополнительные характеристики ландшафтного покрова территории, отражающие её физико-географическое районирование, зонально-

секторную и высотно-поясную структуру и др. Всё это позволяет реализовать расширенный анализ количественных (доля пирогенной преобразованности, восстановление и потеря древесной растительности) и качественных (вид) показателей трансформации ландшафтов, детально охарактеризовать пространственные особенности и результаты антропогенного преобразования территории.

Литература

1. *Алексеев И. А., Пузанов А. В., Черёмкин И. М., Ступникова Т. В., Борисенко Е. Н.* Характеристика антропогенных трансформаций ландшафтов проектируемого космодрома «Восточный» // Мир науки, культуры, образования. 2010. № 6(25). С. 262–267.
2. *Андреев Д. Н.* Методика комплексной диагностики антропогенной трансформации особо охраняемых природных территорий // Геогр. вестн. 2012. № 4(23). С. 4–10.
3. *Атутова Ж. В.* Антропогенно преобразованные геосистемы южной части Лено-Ангарского плато // Изв. РАН. Сер. геогр. 2017. № 2. С. 78–86. DOI: 10.15356/0373-2444-2017-2-78-86.
4. *Батхиев А. М., Беков А. Б., Добриева Ф. М.-Б.* Основные тенденции антропогенного влияния на горные экосистемы (на примере Ингушетии) // Рефлексия. 2017. № 1. С. 6–11.
5. *Бешенцев А. Н.* Геоинформационное обеспечение мониторинга трансформации природных ландшафтов в бассейне оз. Байкал на основе ретроспективных картографических материалов // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 4(49). С. 53–62.
6. *Борисенко Е. Н.* Оценка антропогенной трансформации ландшафтов южной части Амурско-Зейской равнины // Вопросы географии Верхнего Приамурья. 2015. № 4. С. 8–15.
7. *Владимиров И. Н.* Антропогенная нарушенность и динамика геосистем Байкальской Сибири // Природа Внутренней Азии. 2018. № 1(6). С. 19–30. DOI: 10.18101/2542-0623-2018-1-19-30.
8. *Водопьянова Д. С., Скрипчинская Е. А., Нефедова М. В., Диденко П. А.* Антропогенная преобразованность и природный потенциал ландшафтов Апанасенковского района // Наука. Инновации. Технологии. 2018. № 1. С. 103–116.
9. *Горохов А. Н.* Картографирование антропогенной трансформации ландшафтов в Якутии // Вестн. Северо-Восточного федер. ун-та им. М. К. Аммосова. Сер.: Науки о Земле. 2022. № 1(25). С. 19–28. DOI: 10.25587/SVFU.2022.25.1.010.
10. *Гусев А. П.* Антропогенная трансформация ландшафтов и сукцессии растительности // Вестн. Тюменского гос. ун-та. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. № 2. С. 103–110.
11. *Гусев А. П.* Дистанционные индикаторы деградации лесных геосистем юго-востока Беларуси // Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. 2020. № 1(103). С. 46–50.
12. *Елсаков В. В., Щанов В. М.* Спутниковые методы в анализе изменений экосистем бассейна р. Вычегда // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 135–145. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-135-145.
13. *Занозин В. В., Бармин А. Н., Валов М. В.* Применение ГИС и данных ДЗЗ для оценки антропогенного преобразования территории // Вестн. Северо-Восточного федер. ун-та им. М. К. Аммосова. Сер.: Науки о Земле. 2020. № 1(17). С. 27–37. DOI: 10.25587/SVFU.2020.17.6.1131.
14. *Исаченко А. Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. шк., 1991. 366 с.
15. *Истомина Е. А.* Методика оценки нарушенности растительности Южного Прибайкалья с использованием космических снимков и ландшафтной карты // Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер.: Науки о Земле. 2017. Т. 21. С. 59–67.
16. *Калинчук И. В., Михайлов В. А., Позаченюк Е. А.* Оценка антропогенной преобразованности ландшафтов равнинного Крыма // Науч. ведомости Белгородского гос. ун-та. Сер.: Естественные науки. 2016. № 25(246). С. 156–168.
17. *Климина Е. М., Остроухов А. В.* Основные этапы разработки ландшафтно-типологической карты северного Сихотэ-Алиня (Хабаровский край) // Вестн. Дальневосточного отделения Российской акад. наук. 2016. № 5(189). С. 78–85.
18. *Корниенко С. Г.* Особенности трансформации растительности на территории Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 6. № 2. С. 394–399.
19. *Кочуров Б. И.* Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории. Смоленск: СГУ, 1999. 154 с.
20. *Курбатова И. Е., Верещака Т. В., Иванова А. А.* Космический мониторинг трансформации болотных ландшафтов в условиях антропогенных воздействий // Современные проблемы

- дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 216–227. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-216-227.
21. Лавриненко И. А. Карта техногенной нарушенности растительного покрова Ненецкого автономного округа // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 128–136. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-128-136.
22. Марцинкевич Г. И., Счастливая И. И., Гагина Н. В., Бакарасов В. А., Усова И. П. Антропогенная трансформация ландшафтов проблемных регионов Беларуси // Природопользование. 2010. № 18. С. 55–63.
23. Николаишвили Д. А. Комплексная оценка антропогенной трансформации ландшафтов Грузии // Изв. Российской акад. наук. Сер. геогр. 2008. № 2. С. 112–115.
24. Онтиков П. В., Щепашенко Д. Г., Карминов В. Н., Дюраер М., Мартыненко О. В. Динамика площадей древесных насаждений московского региона за 2000–2013 годы // Вестн. Московского гос. ун-та леса — Лесной вестн. 2016. Т. 20. № 1. С. 184–188.
25. Осипов С. В., Гуров А. А. Геоэкологическая оценка и мониторинг территории: технология на основе ландшафтного картографирования антропогенных геокомплексов // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. Науки о Земле. 2022. Т. 67. № 4. С. 631–651. DOI: 10.21638/spbu07.2022.405.
26. Остроухов А. В. Применение данных радарной съемки Земли SRTM 4.1 и их производных для создания геоморфологической основы ландшафтно-инвентаризационных карт // Извест. высш. учеб. заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2018. Т. 62, № 1. С. 45–51. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-1-45-51.
27. Остроухов А. В., Климина Е. М. Ландшафтное картирование труднодоступных территорий с использованием геоинформационных технологий (на примере особо охраняемых территорий Хабаровского края) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 139–149. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-139-149.
28. Остроухов А. В., Климина Е. М., Купцова В. А. Ландшафтное картографирование труднодоступных территорий на примере Государственного природного заповедника «Болоньский» (Россия) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2020. Т. 5. № 2. С. 47–63. DOI: 10.24189/ncr.2020.015.
29. Пуреховский А. Ж., Гуля А. Н., Колбовский Е. Ю. Динамика высокогорных ландшафтов Северного Кавказа по данным дистанционного зондирования в 2000–2020 гг. // Изв. Дагестанского гос. педагог. ун-та. Естественные и точные науки. 2022. Т. 16. № 2. С. 72–84. DOI: 10.31161/1995-0675-2022-16-2-72-84.
30. Рябчиков А. М. Структура и динамика геосферы. Её естественное развитие и изменение человеком. М.: Мысль, 1972. 224 с.
31. Соколов А. С. Трансформация ландшафтов Гродненской области и их сохранение в системе ООПТ // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2017. Т. 26. № 3. С. 94–97.
32. Стрельцова М. М., Архипова О. Е. Изучение состояния лесов Ростовской области с использованием современных геоинформационных технологий // Экология. Экономика. Информатика. Сер.: Геоинформ. технологии и косм. мониторинг. 2021. Т. 2. № 6. С. 100–109. DOI: 10.23885/2500-123X-2021-2-6-100-109.
33. Сурков В. В., Завадский А. С., Тузова Е. А. Техногенная трансформация поймы р. Лена в районе г. Якутск и оценка нарушенности её ландшафтов // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2024. Т. 29. № 2. С. 235–247. DOI: 10.31242/2618-9712-2024-29-2-235-247.
34. Терехин Э. А. Оценка нарушенности лесных экосистем юго-запада Среднерусской возвышенности с применением материалов космических съемок // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 4. С. 112–124. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-112-124.
35. Ухатина А. Ю., Курганович К. А. Анализ пространственной динамики потерь лесной растительности на территории Забайкальского края за период 2001–2020 гг. с использованием данных дистанционного зондирования // Безопасность — 2023: Материалы Всероссийской научно-практич. конф. Чита, 3–5 мая 2023 г. Чита: Забайкальский гос. ун-т, 2023. С. 28–33.
36. Чендев Ю. Г., Петин А. Н., Серикова Е. В., Крамчанинов Н. Н. Деградация геосистем Белгородской области в результате хозяйственной деятельности // География и природные ресурсы. 2008. № 4. С. 69–75.
37. Щепашенко Д. Г., Швиденко А. З., Лесив М. Ю., Онтиков П. В., Щепашенко М. В., Кракснер Ф. Площадь лесов России и её динамика на основе синтеза продуктов дистанционного зондирования // Лесоведение. 2015. № 3. С. 163–171.
38. Batar A. K., Watanabe T., Kumar A. Assessment of land-use/land-cover change and forest fragmentation in the Garhwal Himalayan region of India // Environments. 2017. V. 4. Iss. 2. Article 34. <https://doi.org/10.3390/environments4020034>.
39. Biratu A. A., Bedadi B., Gebrehiwot S. G. et al. Ecosystem service valuation along landscape transformation in central Ethiopia // Land. 2022. V. 11. Iss. 4. Article 500. <https://doi.org/10.3390/land11040500>.

40. Chakma M., Hayat U., Meng J., Hassan M.A. An assessment of landscape and land use/cover change and its implications for sustainable landscape management in the Chittagong Hill Tracts, Bangladesh // *Land*. 2023. V. 12. Iss. 8. Article 1610. <https://doi.org/10.3390/land12081610>.
41. Cheng Y., Song W., Yu H. et al. Assessment and prediction of landscape ecological risk from land use change in Xinjiang, China // *Land*. 2023. V. 12. Iss. 4. Article 895. <https://doi.org/10.3390/land12040895>.
42. Cornejo-Denman L., Romo-Leon J. R., Hartfield K. et al. Landscape dynamics in an iconic watershed of Northwestern Mexico: Vegetation condition insights using Landsat and PlanetScope data // *Remote Sensing*. 2020. V. 12. Iss. 16. Article 2519. <https://doi.org/10.3390/rs12162519>.
43. Galiatsatos N., Donoghue D. N. M., Watt P. et al. An assessment of global forest change datasets for national forest monitoring and reporting // *Remote Sensing*. 2020. V. 12. Iss. 11. Article 1790. <https://doi.org/10.3390/rs12111790>.
44. Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S. V., Goetz S. J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. O., Townshend J. R. G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // *Science*. 2013. V. 342. Iss. 6160. P. 850–853.
45. Latorre-Cárdenas M. C., González-Rodríguez A., Godínez-Gómez O. et al. Estimating fragmentation and connectivity patterns of the temperate forest in an avocado-dominated landscape to propose conservation strategies // *Land*. 2023. V. 12. Iss. 3. Article 631. <https://doi.org/10.3390/land12030631>.
46. Mirzekhanova Z. G., Ostroukhov A. V. Transformation of natural systems disturbed by gold placer mining in the Khabarovsk Territory // *J. Mining Science*. 2018. V. 54. No. 3. P. 435–443. DOI: 10.1134/S1062739118033834.
47. Musavandalo C. M., Sambieni K. R., Mweru J.-P. M. et al. Land cover dynamics in the northwestern Virunga landscape: An analysis of the past two decades in a dynamic economic and security context // *Land*. 2024. V. 13. Iss. 5. Article 566. <https://doi.org/10.3390/land13050566>.

Assessment of landscape transformation in regions of new development based on satellite data (Khabarovsk Krai as an example)

A. V. Ostroukhov

Institute of Water and Ecology Problems FEB RAS, Khabarovsk 680000, Russia
E-mail: Ostran2004@bk.ru

Based on the landscape map of territory, the data from Fire Information for Resource Management System (FIRMS) MODIS Collection 6 and Global Forest Change (GFC) projects, a methodology for classifying the landscapes in the regions of new development according to the degree and extent of anthropogenic transformation has been developed and tested. The peculiarity of these regions is that anthropogenic activity does not lead to the formation of large areas of residential-industrial and agricultural landscapes, the proportion of which is traditionally used to assess the degree of transformation of the natural environment. The results of assessment of the degree of transformation of the territory of Khabarovsk Krai reflect the current level of transformation of the landscapes of the territory at 60.67 %, of which only 0.33 % refers to anthropogenic landscapes: rural-industrial and agricultural. The share of preserved indigenous natural landscapes is 39 %, varying in landscapes of different natural zones from 71.7 % (of the area of the zone) for tundra landscapes to 31.8 % for forest geosystems. Along with the main parameters (landscape type index, area, scale and degree of transformation), the attribute table of the resulting map contains additional characteristics of the landscape cover of the territory, reflecting its physical-geographical zoning, zonal-sector and altitude-belt structure and others. All this provides an opportunity for extended analysis of quantitative and qualitative indicators of landscape transformation, detailed analysis of spatial features and results of anthropogenic transformation of the territory.

Keywords: landscape transformation, Global Forest Change, regions of new development, Khabarovsk Krai, reforestation

Accepted: 28.01.2025
DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-85-98

References

1. Alekseev I. A., Puzanov A. V., Cheremkin I. M., Stupnikova T. V., Borisenko E. N., Characterisation of anthropogenic transformations of landscapes of the designed cosmodrome "Vostochny", *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*, 2010, No. 6(25), pp. 262–267 (in Russian).
2. Andreev D. N., Methodology of complex diagnostics of anthropogenic transformation of specially protected natural territories, *Geograficheskii vestnik*, 2012, No. 4(23), pp. 4–10 (in Russian).
3. Atutova Zh. V., Anthropogenically transformed geosystems of the southern part of the Lena-Angara Plateau, *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2017, No. 2, pp. 78–86 (in Russian), DOI: 10.15356/0373-2444-2017-2-78-86.
4. Batkhiev A. M., Bekov A. B., Dobrieva F. M.-B., Main trends of anthropogenic impact on mountain ecosystems (on the example of Ingushetia), *Refleksiya*, 2017, No. 1, pp. 6–11 (in Russian).
5. Beshentsev A. N., Geoinformation support of natural landscape transformation monitoring in the Lake Baikal basin based on retrospective cartographic materials, *Aridnye ehkosistemy*, 2011, V. 17, No. 4(49), pp. 53–62 (in Russian).
6. Borisenko E. N., Assessment of anthropogenic transformation of landscapes of the southern part of the Amur-Zeya Plain, *Voprosy geografii Verkhnego Priamur'ya*, 2015, No. 4, pp. 8–15 (in Russian).
7. Vladimirov I. N., Anthropogenic disturbance and dynamics of geosystems of Baikal Siberia, *Priroda Vnutrennei Azii*, 2018, No. 1(6), pp. 19–30 (in Russian), DOI: 10.18101/2542-0623-2018-1-19-30.
8. Vodop'yanova D. S., Skripchinskaya E. A., Nefedova M. V., Didenko P. A., Anthropogenic transformation and natural potential of landscapes of Apanasenskovsky distric, *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*, 2018, No. 1, pp. 103–116 (in Russian).
9. Gorokhov A. N., Mapping anthropogenic transformation of landscapes in Yakutia, *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova. Seriya: Nauki o Zemle*, 2022, No. 1(25), pp. 19–28 (in Russian), DOI: 10.25587/SVFU.2022.25.1.010.
10. Gusev A. P., Anthropogenic transformation of landscapes and vegetation succession, *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ehkologiya i prirodopol'zovanie*, 2015, V. 1, No. 2, pp. 103–110 (in Russian).
11. Gusev A. P., Remote sensing indicators of forest geosystem degradation in south-eastern Belarus, *Vestsi BDPU. Seriya 3. Fizika. Matehmatyka. Infarmatyka. Biyalogiya. Geagrafiya*, 2020, No. 1(103), pp. 46–50 (in Russian).
12. Elsakov V. V., Schanov V. M., Satellite data in analysis of changes in ecosystems of the Vychegda River basin, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, V. 13, No. 4, pp. 135–145 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-135-145.
13. Zanozin V. V., Barmin A. N., Valov M. V., Application of GIS and remote sensing data for assessment of anthropogenic transformation of the territory, *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M. K. Ammosova. Seriya: Nauki o Zemle*, 2020, No. 1(17), pp. 27–37 (in Russian), DOI: 10.25587/SVFU.2020.17.61131.
14. Isachenko A. G., *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe raionirovanie* (Landscape science and physiological zoning), Moscow: Vysshaya shkola, 1991, 366 p. (in Russian).
15. Istomina E. A., Methodology for assessment of vegetation disturbance in the Southern Pribaikals using space images and landscape map, *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*, 2017, V. 21, pp. 59–67 (in Russian).
16. Kalinchuk I. V., Mikhailov V. A., Pozachenyuk E. A., Assessment of anthropogenic transformation of landscapes of flat Crimea, *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2016, No. 25(246), pp. 156–168 (in Russian).
17. Klimina E. M., Ostroukhov A. V., Main stages of the development of landscape-typological map of the northern Sikhote-Alin (Khabarovsk Region), *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*, 2016, No. 5(189), pp. 78–85 (in Russian).
18. Kornienko S. G., Peculiarities of vegetation transformation in the territory of the Urengoy oil and gas condensate field, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, V. 6, No. 2, pp. 394–399 (in Russian).
19. Kochurov B. I., *Geoehkologiya: ehkodiagnostika i ehkologo-khozyaistvennyi balans territorii* (Geoecology: ecodiagnosis and ecological-economic balance of the territory), Smolensk: SGU, 1999, 154 p. (in Russian).
20. Kurbatova I. E., Vereshchaka T. V., Ivanova A. A., Space-based monitoring of bog landscape transformation under anthropogenic impacts, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, V. 18, No. 4, pp. 216–227 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-216-227.
21. Lavrinenko I. A., Map of anthropogenic disturbance of the vegetation cover of the Nenets Autonomous Okrug, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, V. 15, No. 2, pp. 128–136 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-128-136.

22. Martsinkevich G. I., Schastnaya I. I., Gagina N. V., Bakarasov V. A., Usova I. P., Anthropogenic transformation of landscapes in problematic regions of Belarus, *Prirodopol'zovanie*, 2010, No. 18, pp. 55–63 (in Russian).
23. Nikolaishvili D. A., Integrated assessment of anthropogenic transformation of landscapes in Georgia, *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2008, No. 2, pp. 112–115 (in Russian).
24. Ontikov P. V., Shchepashchenko D. G., Karminov V. N., Dyuraev M., Martynenko O. V., Dynamics of tree plantation areas in the Moscow region for 2000–2013, *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Lesnoi vestnik*, 2016, V. 20, No. 1, pp. 184–188 (in Russian).
25. Osipov S. V., Gurov A. A., Geo-ecological assessment and monitoring of the territory: technology based on landscape mapping of anthropogenic geocomplexes, *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2022, V. 67, No. 4, pp. 631–651 (in Russian), DOI: 10.21638/spbu07.2022.405.
26. Ostroukhov A. V., Application of SRTM 4.1 radar survey data and their derivatives for creation of geomorphological basis of landscape-inventory maps, *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geodeziya i aerofotos'emka*, 2018, V. 62, No. 1, pp. 45–51, DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-1-45-51 (in Russian).
27. Ostroukhov A. V., Klimina E. M., Landscape mapping of hard-to-reach territories using geoinformation technologies (on the example of specially protected territories of Khabarovsk Territory), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, V. 17, No 1, pp. 139–149, DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-139-149 (in Russian).
28. Ostroukhov A. V., Klimina E. M., Kuptsova V. A., Landscape mapping of hard-to-reach areas on the example of the Bolonsky State Nature Reserve (Russia), *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*, 2020, V. 5, No. 2, pp. 47–63 (in Russian), DOI: 10.24189/ncr.2020.015.
29. Purekhovskii A. Zh., Gunya A. N., Kolbovskii E. Yu., Dynamics of high-mountain landscapes of the North Caucasus according to remote sensing data in 2000–2020, *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauki*, 2022, V. 16, No. 2, pp. 72–84 (in Russian), DOI: 10.31161/1995-0675-2022-16-2-72-84.
30. Ryabchikov A. M., *Struktura i dinamika geosfery. Ee estestvennoe razvitiye i izmeneniye chelovekom* (The structure and dynamics of the geosphere. Its natural development and human modification), Moscow: Mysl', 1972, 224 p. (in Russian).
31. Sokolov A. S., Transformation of landscapes of Grodno region and their conservation in the system of protected areas, *Samarskaya Luka: problemy regional'noi i global'noi ehkologii*, 2017, V. 26, No. 3, pp. 94–97 (in Russian).
32. Strel'tsova M. M., Arkhipova O. E., Study of the state of forests in Rostov region using modern geoinformation technologies, *Ehkologiya. Ehkonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring*, 2021, V. 2, No. 6, pp. 100–109 (in Russian), DOI: 10.23885/2500-123X-2021-2-6-100-109.
33. Surkov V. V., Zavadskii A. S., Tuzova E. A., Technogenic transformation of the Lena River floodplain near Yakutsk and assessment of its landscape disturbance, *Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики*, 2024, V. 29, No. 2, pp. 235–247 (in Russian), DOI: 10.31242/2618-9712-2024-29-2-235-247.
34. Terekhin E. A., Estimation of forest ecosystems disturbance in the southwest of Central Russian Upland using remote sensing data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, V. 14, No. 4, pp. 112–124 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-112-124.
35. Ukhatina A. Yu., Kurganovich K. A., Analysis of spatial dynamics of forest vegetation loss in the territory of the Zabaikalsky Krai for the period 2001–2020 using remotely sensed data, *Bezopasnost' — 2023: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Chita, 3–5 maya 2023 goda* (Security — 2023: Proc. All-Russian scientific and practical conf., Chita, May 3–5, 2023), Chita: Zabaikal'skii gosudarstvennyi universitet, 2023, pp. 28–33 (in Russian).
36. Chendev Yu. G., Petin A. N., Serikova E. V., Kramchaninov N. N., Degradation of geosystems in the Belgorod region as a result of economic activity, *Geografiya i prirodnye resursy*, 2008, No. 4, pp. 69–75 (in Russian).
37. Shchepashchenko D. G., Shvidenko A. Z., Lesiv M. Yu., Ontikov P. V., Shchepashchenko M. V., Kraksner F., Russian forest area and its dynamics based on synthesis of remote sensing products, *Lesovedeniye*, 2015, No. 3, pp. 163–171 (in Russian).
38. Batar A. K., Watanabe T., Kumar A., Assessment of land-use/land-cover change and forest fragmentation in the Garhwal Himalayan region of India, *Environments*, 2017, V. 4, Iss. 2, Article 34, <https://doi.org/10.3390/environments4020034>.
39. Biratu A. A., Bedadi B., Gebrehiwot S. G. et al., Ecosystem service valuation along landscape transformation in central Ethiopia, *Land*, 2022, V. 11, Iss. 4, Article 500, <https://doi.org/10.3390/land11040500>.
40. Chakma M., Hayat U., Meng J., Hassan M. A., An assessment of landscape and land use/cover change and its implications for sustainable landscape management in the Chittagong Hill Tracts, Bangladesh, *Land*, 2023, V. 12, Iss. 8, Article 1610, <https://doi.org/10.3390/land12081610>.
41. Cheng Y., Song W., Yu H. et al., Assessment and prediction of landscape ecological risk from land use change in Xinjiang, China, *Land*, 2023, V. 12, Iss. 4, Article 895, <https://doi.org/10.3390/land12040895>.

42. Cornejo-Denman L., Romo-Leon J. R., Hartfield K. et al., Landscape dynamics in an iconic watershed of Northwestern Mexico: Vegetation condition insights using Landsat and PlanetScope data, *Remote Sensing*, 2020, V. 12, Iss. 16, Article 2519, <https://doi.org/10.3390/rs12162519>.
43. Galiatsatos N., Donoghue D. N. M., Watt P. et al., An assessment of global forest change datasets for national forest monitoring and reporting, *Remote Sensing*, 2020, V. 12, Iss. 11, Article 1790, <https://doi.org/10.3390/rs12111790>.
44. Hansen M. C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S. V., Goetz S. J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. O., Townshend J. R. G., High-resolution global maps of 21st-century forest cover change, *Science*, 2013, V. 342, Iss. 6160, pp. 850–853.
45. Latorre-Cárdenas M. C., González-Rodríguez A., Godínez-Gómez O. et al., Estimating fragmentation and connectivity patterns of the temperate forest in an avocado-dominated landscape to propose conservation strategies, *Land*, 2023, V. 12, Iss. 3, Article 631, <https://doi.org/10.3390/land12030631>.
46. Mirzekhanova Z. G., Ostroukhov A. V., Transformation of natural systems disturbed by gold placer mining in the Khabarovsk Territory, *J. Mining Science*, 2018, V. 54, No. 3, pp. 435–443, DOI: 10.1134/S1062739118033834.
47. Musavandalo C. M., Sambieni K. R., Mweru J.-P. M. et al., Land cover dynamics in the northwestern Virunga landscape: An analysis of the past two decades in a dynamic economic and security context, *Land*, 2024, V. 13, Iss. 5, Article 566, <https://doi.org/10.3390/land13050566>.