

УДК 528.71:332

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-168-178

Применение космических снимков для определения средоформирующего потенциала территории

А. П. Сизов¹, Е. Г. Черных², В. Н. Щукина^{2✉}, К. Р. Меркурьева², Д. А. Букреев²

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии,
г. Москва, Российская Федерация

² Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, Российская Федерация

e-mail: schukinavn@tyuiu.ru

Аннотация. Средоформирующий потенциал (СФП) территории рассматривается авторами в качестве индикатора состояния земель, ландшафтов. СФП позволяет выполнить оценку состояния земель, прогнозирование их использования и анализ изменений, произошедших на данной территории. В ранее опубликованных материалах авторов выполнены детальные исследования в части расчета величины СФП применительно к территории регионов всей Российской Федерации, основанные на анализе сведений о наличии и распределении земель по угодьям, находящихся в открытых источниках и государственных (национальных) докладах. Целью исследования является разработка метода тематического дешифрирования спутниковых снимков для расчета СФП территории. Исследование реализовано на основе методов информационно-логического и сравнительно-географического анализа в предметной области (землепользование, природообустройство и экообустройство). В статье приведены характеристики исходных космических снимков, результаты их тематического дешифрирования, а также фрагмент сводной таблицы соотнесения значений NDVI (нормализованный относительный индекс растительности) элементарных ячеек по видам угодий для исчисления уточненного СФП территории. Основным результатом явился детальный анализ выделяемых элементарных ячеек (ЭЯ), сопоставление индекса NDVI с видом угодий, позволивший объективно и более достоверно определить СФП территории. В качестве экспериментальной площадки рассматривается репрезентативная часть территории Тюменского района. Научной новизной данного исследования, результаты которого представлены в статье, является разработка и апробация подхода исчисления величины СФП по результатам дешифрирования космических снимков.

Ключевые слова: дешифрирование, космический снимок, средоформирующий потенциал, Тюменский район, угодья, NDVI

Для цитирования:

Сизов А. П., Черных Е. Г., Щукина В. Н., Меркурьева К. Р., Букреев Д. А. Применение космических снимков для определения средоформирующего потенциала территории // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 4. – С. 168–178. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-4-168-178

Введение

Спутниковые снимки представляют собой мощный инструмент для анализа и мониторинга природных и антропогенных процессов на территории [1]. В условиях глобальных изменений климата и увеличения антропоген-

ной нагрузки на экосистемы анализ средоформирующего потенциала территории становится особенно актуальным. Данная статья посвящена исследованию возможностей применения спутниковых снимков для определения средоформирующего потенциала, что позволит более эффективно управлять при-

родными ресурсами и планировать устойчивое развитие территорий.

Особое внимание, на взгляд авторов, при анализе и планировании природопользования следует уделять средоформирующему потенциалу территории. Это понятие используется в научной литературе большей частью применительно к лесным экосистемам, обладающим наиболее высоким СФП.

Механизм эколого-экономической оценки СФП лесных ландшафтов детально описан Ю. В. Лебедевым. Для территории муниципального образования Е. А. Стыценко предложена методика автоматизированного дешифрирования оцифрованных разносезонных зональных космических изображений с помощью соответствующего программного обеспечения, позволяющая уверенно распознавать сельскохозяйственные угодья и растительный покров различных видов, но в ней не описаны все те показатели, с помощью которых исчисляется СФП территории.

Средоформирующий потенциал – это пространственно-распределенный и изменяющийся во времени показатель, который определяется по соотношению угодий на рассматриваемой территории.

Под СФП территорий в широком смысле в проекте авторы понимают совокупность всех природных ресурсов, факторов и условий территории, обладающих средообразующими (СОС), средовоспроизводящими (СВС) и средозащитными (СЗС) свойствами (включая климатические, геологические, гидрологические, земельные, почвенные и др., а также антропогенные):

$$\text{СФП} = \Sigma(\text{СОС}, \text{СВС}, \text{СЗС}).$$

Указанные свойства определяют количественные показатели выделения кислорода и поглощения углекислого газа на единицу площади и соотношение данных процессов [2, 3]. Таким образом, можно формализовать концептуальное положение наших исследований:

$$\text{O}_2\uparrow/\downarrow\text{CO}_2 = f(\text{СФП}).$$

Поэтому для анализа изменения СФП следует применять мониторинговые методы получения информации о местности. Проводить сбор информации о местности наземными ме-

тодами трудоемко и экономически нецелесообразно, поскольку речь идет о площадях в десятки и сотни квадратных километров.

Актуальность работы обусловлена необходимостью дальнейшего поиска инструментов, компенсирующих перманентные негативные последствия, вызванные изменением природной среды во благо человека, но закономерно приводящих к нарушению состояния окружающей среды. Вопросы адекватной оценки качества земель на основе индикаторов их состояния актуальны при анализе и планировании использования природных, в частности, земельных ресурсов в связи с пространственным развитием территорий.

Научная новизна исследования заключается в разработке методики определения СФП по результатам тематического дешифрирования космических снимков и определения индекса NDVI в границах выделяемых элементарных ячеек. Этапы предлагаемой методики представлены на рис. 1.



Рис. 1. Этапы методики определения СФП с применением космических снимков

Апробация предлагаемой методики выполнялась на территории Тюменского района со стороны Московского тракта, в границы которой входят следующие населенные пункты: пос. Московский, д. Посохова, с. Гусево, д. Зубарева, д. Ушакова, с. Перевалово, пос. Подъем.

Методы и материалы

Исследование реализовано на основе методов информационно-логического и сравнительно-географического анализа в предметной области (землепользование, природообустройство и экообустройство); количественной оценки величины средоформирующего потенциала территории как функции баланса различных выделов земель, различающихся их физическим состоянием, характером поверхности и, соответственно, спектрально-отражательными свойствами (типы землепользования, угодья) с помощью прямого счета.

Исходными данными для последующего анализа территории и исчисления СФП территории послужили материалы дистанционного зондирования Земли из космоса.

Для выполнения тематического дешифрирования и определения индекса NDVI были получены панхроматические и многозональные снимки со спутника Spot-6, выполненные 23.08.2013, 14.08.2019, 16.08.2023, с последующим созданием по ним ортомозаик (рис. 2–4).



Рис. 2. Ортомозаика из снимков со спутника Spot-6. Дата съемки 23.08.2013



Рис. 3. Ортомозаика из снимков со спутника Spot-6. Дата съемки 14.08.2019



Рис. 4. Ортомозаика из снимков со спутника Spot-6. Дата съемки 16.08.2023

Пространственное разрешение панхроматических изображений составляет 1,5 м, многозональных – 6 м. В результате паншарпенинга получены многозональные изображения с пространственным разрешением 1,5 м.

В зависимости от спектрального диапазона изображений земной поверхности будут различаться и дешифровочные признаки.

Примеры методологии визуального (экспертного) дешифрирования представлены в ряде изданий [1–5].

Целью тематического дешифрирования в данном исследовании являлось распознавание типов угодий, определение их границ и площадей.

Подробно дешифровочные признаки угодий на рассматриваемой территории с примером их отображения на космоснимке представлены в работе [6]. Даны описания следующих угодий: пашня, многолетние насаждения, сенокосы и пастбища, залежь, нарушенные земли, подвергшиеся антропогенному воздействию. Характер отображения на космоснимках того или иного типа угодий может отличаться в зависимости от спектрального диапазона, времени года, освещенности и т. п., поэтому в каждом отдельном случае требуется индивидуальный подход к дешифрированию.

Результаты

С помощью программного обеспечения QGIS по космическим снимкам проводится тематическое дешифрирование и классификация объектов на исследуемой территории. Результаты векторизации контуров угодий распределены по слоям и представлены в легенде (рис. 5).

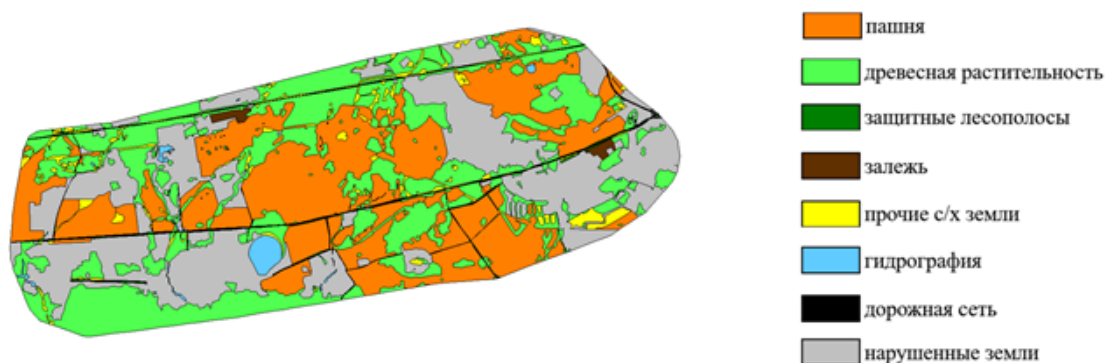


Рис. 5. Тематические слои, соответствующие различным видам угодий, полученные в результате дешифрирования космических снимков

Изменение распределения площадей угодий обследуемой территории за период 2013–2023 гг. представлено на диаграмме (рис. 6). В таблице данных на диаграмме площади угодий указаны в квадратных километрах.

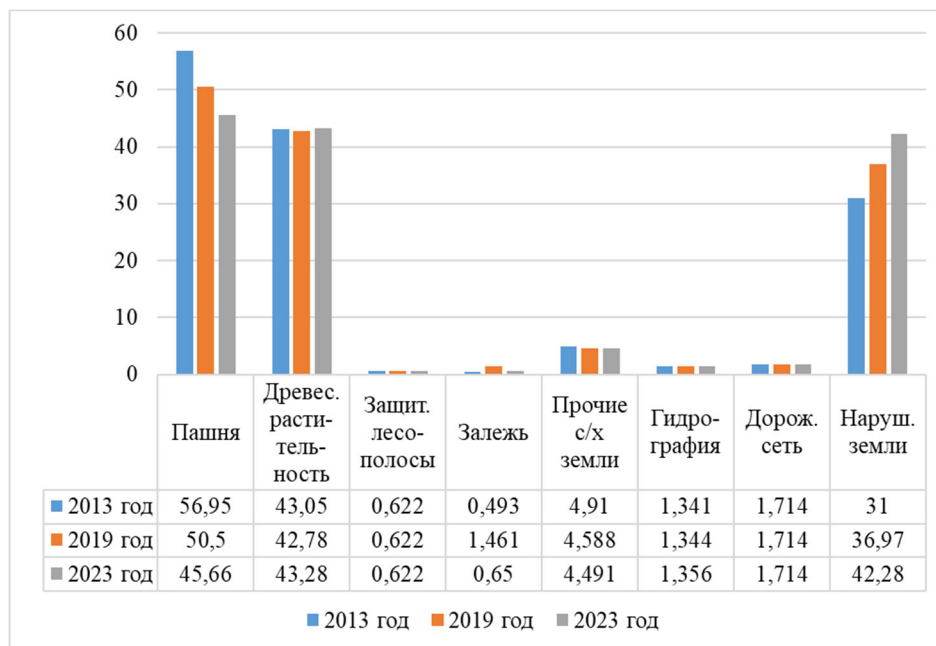


Рис. 6. Изменение распределения площадей угодий обследуемой территории за период 2013–2023 гг.

Анализируя данные диаграммы, можно сделать следующие выводы:

- более чем на 10 км² уменьшилась площадь пашни, при этом увеличилась площадь нарушенных земель на аналогичную величину;

- нестабильное изменение площадей залежи может быть обусловлено недостаточностью данных для ее однозначного дешифрирования;

– площади остальных угодий изменились незначительно.

Обсуждение

Дальнейшей задачей исследования является апробация нового подхода исчисления величины СФП путем объединения результатов тематического дешифрирования угодий с попиксельным определением индекса NDVI

и выделением элементарных ячеек в контуре каждого угодья.

Практическая значимость данной процедуры заключается в более точном определении СФП территории и анализе изменений в разрезе 2013, 2019, 2023 гг., что положено в основу разрабатываемой методики определения СФП с применением космических снимков (ранее при определении СФП космические снимки не использовались).

Анализ использования территорий по спектральным индексам (NDVI, NDWI (нормализованный относительный индекс воды), MSI (индекс весеннего развития растительности)) выполняется при решении широкого круга задач, но зачастую сравнительный анализ разновременных снимков используется при изучении изменений по какому-либо одному объекту (виду угодий, определенному типу растений или ограниченной территории) [7–11]. В некоторых публикациях NDVI применяется как показатель изменения территорий вследствие воздействий природного или техногенного характера [12–15].

Особенностью данного исследования является анализ разных типов угодий и определение индекса NDVI как промежуточного звена в исчислении СФП в качестве критерия использования территории. Подобное исследование описано в [16], в котором критерием использования территории является только изменение площадей по шести типам угодий: леса, водоемы, застроенные территории, бесплодные земли, пахотные земли, болота в разрезе десятилетия (с 1993–2022 гг.), но отсутствует дифференцированный показатель, подобный СФП.

Вычисление индекса NDVI выполнено по формуле

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}, \quad (1)$$

где *NIR* – инфракрасный канал, *RED* – красный канал.

На базе геоинформационной системы QGIS с помощью инструмента «Калькулятор растров» выбраны интересующие нас спектральные каналы и, согласно представленной формуле, рассчитаны значения индекса NDVI. Полученное растровое изображение

представлено в цветах отображения индекса NDVI в соответствии с выбранной шкалой интерполяции цветов (рис. 7).

Путем сопоставления растровых и векторных изображений производится количественное вычисление значений индекса внутри границ каждого отдельного типа сельскохозяйственных угодий, т. е. путем выделения элементарных ячеек (рис. 8, 9). Элементарная ячейка представляет замкнутый контур, включающий определенное количество пикселей растрового изображения, с единым показателем NDVI.

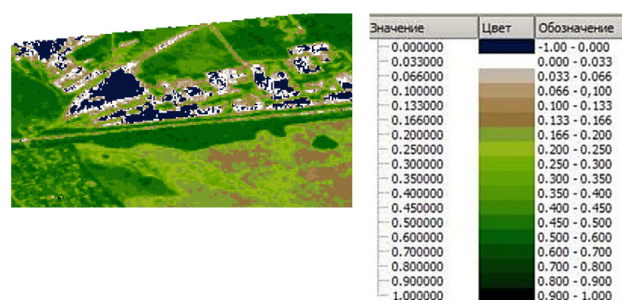


Рис. 7. Фрагмент растрового слоя NDVI

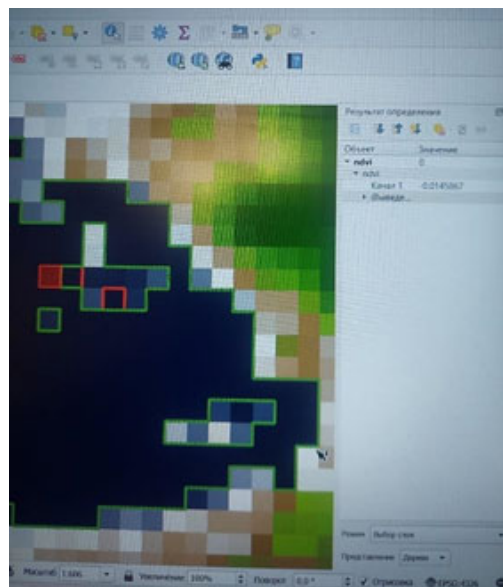


Рис. 8. Процедура выделения элементарных ячеек и их классификация по значению NDVI

Формируем сводный массив сопоставления значений NDVI элементарных ячеек по видам угодий (таблица).

Определение NDVI элементарных ячеек по видам угодий

№ категории (вида угодья)	Значение индекса NDVI	Количество ячеек		
		2013 г.	2019 г.	2023 г.
Гидрография	0,0	1 134	1	1 608
Гидрография	0,033	145	11	133
Гидрография	0,066	115	147	129
Гидрография	0,1	97	1 097	139
Гидрография	0,133	74	536	159
Гидрография	0,166	89	346	165
Гидрография	0,2	101	281	189
Гидрография	0,25	145	392	292
Гидрография	0,3	211	374	332
Гидрография	0,35	210	467	471
Гидрография	0,4	308	668	595
Гидрография	0,45	559	1 025	750
Гидрография	0,5	1 184	2 061	872
Гидрография	0,6	5 361	4 159	2 135
Гидрография	0,7	3 598	1 934	3 142
Гидрография	0,8	143	2	2 514
Гидрография	0,9	0	0	0
Гидрография	1,0	0	0	0
ИТОГО	0,0–1,0	13 472	13 499	13 624

Аналогичная таблица формируется для каждого угодья, внутри которого группируются ЭЯ по показателю NDVI.

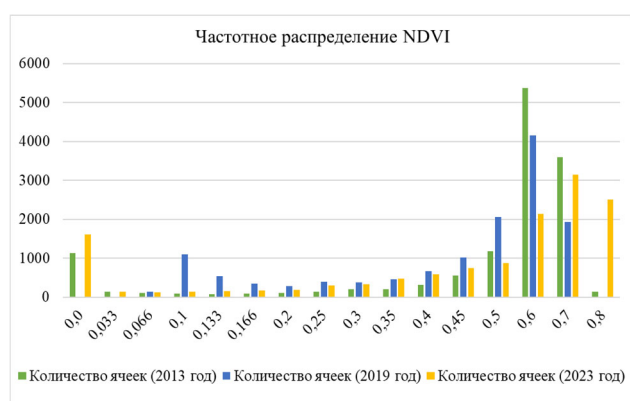


Рис. 9. Частотное распределение индекса NDVI за 2013, 2019, 2023 гг.

Дальнейшие исследования будут заключаться в расчете СФП на основе полученных данных из представленной таблицы.

Заключение

По результатам проведенного исследования было установлено, что для определения средоформирующего потенциала территории целесообразно использовать дешифрирование космических снимков в качестве предварительного этапа. На этом этапе выделяются границы различных угодий, что позволяет затем точно измерять площади их контуров.

Тематическое дешифрирование по космическим снимкам не обеспечивает полностью достоверность распознавания некоторых видов угодий, таких как сенокосы, пастбища, залежь, поэтому для повышения точности необходимо уточнение в полевых условиях.

Принятый нами временной интервал в 4–6 лет не позволяет однозначно распознать залежи, поэтому для их определения необходимо анализировать снимки трех последовательных годов.

В целом предлагаемая методика обладает рядом несомненных достоинств:

- широкий охват территории;
- оперативность получения космических изображений;
- сокращение временных затрат на выполнение полевых обследований и камеральную обработку;
- экономическая эффективность.

Дальнейшее развитие и реализация представленной методики заключается в анализе

полученных показателей NDVI, исчислении уточненного СФП территории экспериментального участка, формулировании выводов об изменениях территории в разрезе 2013, 2019, 2023 гг., для которых имеются снимки.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках выполнения гранта Российского научного фонда № 23-27-00051, <https://rscf.ru/project/23-27-00051/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алейников А. А., Зимин М. В., Конох О. А., Кузнецова Е. А., Кузнецова (Белозерова) Е. А., Мудря Т. М. Изображения Земли из Космоса: примеры применения : научно-популярное издание. – М. : СканЭкс, 2005. – 100 с.
2. Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., Перминова Е. С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения : учебное пособие. – Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 191 с.
3. Епринцев С. А., Шекоян С.В. Тематическое дешифрирование космических снимков для оценки антропогенной нагрузки урбанизированных территорий // Экологическая оценка состояния воздушного бассейна крупных промышленных городов Центрального Черноземья : сборник научных статей. – Воронеж : Цифровая полиграфия, 2021. – С. 167–179. – EDN NXDLCE.
4. Илюшина Т. В., Сизов А. П. Исследование динамики рекреационных зон городского округа Самара с помощью методов дистанционного зондирования Земли // Геодезия и картография. – 2023. – № 10. – С. 50–55. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-50-55. – EDN LKCODB.
5. Ковалева Е. В., Лопачев Н. А., Кузьмина О. С., Тетерядченко А. И., Колесниченко Е. Ю. Мониторинговые исследования эрозионных процессов на пахотных полях с помощью дешифрирования космических снимков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 3(31). – С. 98–106. – EDN JXDDCE.
6. Сизов А. П., Щукина В. Н. Дешифрирование снимков для определения средоформирующего потенциала территории // Актуальные вопросы развития землеустроительной отрасли : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной ученому, землеустроителю, профессору М.А. Сулину (в рамках празднования 120-летия ФГБОУ ВО СПбГАУ) (Санкт-Петербург – Пушкин, 18 апреля 2024 г.). – СПб. – Пушкин : Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2024. – С. 42–46. – EDN XKUYSG.
7. Yan Ju., Zhang G., Ling H., Han F. Comparison of time-integrated NDVI and annual maximum NDVI for assessing grassland dynamics // Ecological Indicators. – 2022. – Vol. 136. – P. 108611. – DOI 10.1016/j.ecolind.2022.108611. – EDN ZJFKWG.
8. Taskuzhina A., Khusnitdinova M., Kapytina A., Moiseev R., Sagitov A., Gritsenko D. NDVI-based research on Sievers apple trees in the Northern Tien Shan region // Izvestiy Osh technological university. – 2023. – No. 2-2. – P. 33–36. – EDN BKDIWZ.
9. Arrogante-Funes P., Osuna D., Arrogante-Funes F., Alvarez-Ripado A., Garcia Bruzon A. Uncovering NDVI time trends in Spanish high mountain biosphere reserves // Journal of Environmental Management. – 2024. – Vol. 355. – P. 120527. – DOI 10.1016/j.jenvman.2024.120527. – EDN BXGAJA.
10. Уфимцев А., Абрамов Н. В. Использование коэффициента NDVI в системе точного земледелия // Интеграция науки и образования в аграрных вузах для обеспечения продовольственной безопасности России : сборник трудов национальной научно-практической конференции (Тюмень, 01–03 ноября 2022 г.) – Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022. – С. 228–234. – EDN RBJGDS.

11. Кашницкий А. В., Антошкин А. А., Денисов П. В., Толпин В. А., Трошко К. А. Верификация информации о местах произрастания сельскохозяйственных культур на основе среднего значения индекса NDVI на поле // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : материалы X Международной научной конференции (Красноярск, 12–15 сентября 2023 г.). – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2023. – С. 102–105.
12. Рыбников П. А., Рыбникова Л. С., Бузина Д. А., Смирнов А. Ю. Оценка самореабилитации территории Левихинского рудника по данным индекса NDVI // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Санкт-Петербург, 31 марта – 01 апреля 2022 г.). – М. : Геоинфо, 2022. – С. 422–427.
13. Курганович К. А., Макаров В. П. Использование вегетационных индексов NDVI для оценки влияния пожаров на динамику растительности Цасучейского бора // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2015. – № 2 (117). – С. 27–36. – EDN TSVNQH.
14. Докучаева В. К., Сучкова И. А. Мониторинг состояния растительности территории близ Норильского ТЭЦ-3: анализ NDVI // Исследования Русского Севера: экология, история, наследие : материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) к 200-летию со дня рождения Н. Я. Данилевского (Вологда, 27 октября 2022 г.). – Вологда : Вологодский государственный университет, 2022. – С. 167–173. – EDN QOYIUA.
15. Hou Q., Yang Zh. Ji, H., Yu X. Impacts of climate change and human activities on different degraded grassland based on NDVI // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12, No. 1. – P. 15918. – DOI 10.1038/s41598-022-19943-6. – EDN JXPFSJ.
16. Pathan Sh. A., V A. Assessment of Land Use/Land Cover Change and NDVI Analysis in Wokha District, Nagaland, India // Human Ecology. – 2024. – 52. – P. 549–561. – DOI 10.1007/s10745-024-00512-6. – EDN PNCZRG.

Об авторах

Александр Павлович Сизов – доктор технических наук, профессор кафедры землеустройства и кадастра.

Елена Германовна Черных – доктор технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Вера Николаевна Щукина – кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Кристина Рудольфовна Меркурьева – ассистент кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Дмитрий Александрович Букреев – аспирант кафедры геодезии и кадастровой деятельности.

Получено 09.12.2024

© А. П. Сизов, Е. Г. Черных, В. Н. Щукина,
К. Р. Меркурьева, Д. А. Букреев, 2025

Application of satellite imagery for assessing the environment forming potential of a territory

A. P. Sizov¹, E. G. Chernyh², V. N. Shchukina^{2✉}, K. R. Merkurieva², D. A. Bukreev²

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

² Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

e-mail: schukinavn@tyuiu.ru

Abstract. The environment-forming potential (EFP) of the territory as an indicator of the state of lands, landscapes and territories is considered in the article. The EFP enables an assessment of land condition, forecasting its use, and analyzing changes that occurred in the territory. In the authors' earlier works, detailed studies were carried out on calculating the value of the EFP across all regions of the Russian Federation based on data regarding the availability and distribution of lands according to categories taken from open sources and national reports. The primary objective of the study is to devise a robust methodology for interpreting satellite imagery specifically aimed at accurately calculating the EFP of various territories. To achieve this goal, advanced techniques combining information-logical and comparative geographical analysis within the subject area (land use, environmental management, and ecological development) were employed. The article presents characteristics of the initial satellite images, results of their thematic interpretation, as well as an excerpt from a summary table correlating Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values of elementary cells with different types of land cover used for calculating refined territorial EFP. A representative part of Tyumen district is considered as a designated test region. The methodological advancement of the study lies in developing and testing an approach to quantifying the environment-forming potential through the interpretation of satellite imagery.

Keywords: interpretation, satellite image, environment-forming potential, Tyumen district, land, NDVI

REFERENCE

1. Alejnikov, A. A., Zimin, M. V., Konoh, O. A., Kuznecova, E. A., Kuznecova (Belozerova), E. A., Mudrja, T. M. (2005) *Izobrazhenija Zemli iz Kosmosa: primery primenenija. [Images of the Earth from Space: application examples]*. Popular science publication. M., Engineering and Technology Center "ScanEx". 100 p. [in Russian].
2. Shikhov, A. N., Gerasimov, A. P., Ponomarchuk, A. I., Perminova, E. S. (2020). *Tematicheskoe deshifirovanie i interpretacija kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo prostranstvennogo razreshenija [Thematic decoding and interpretation of satellite images of medium and high spatial resolution]* : textbook / ; Perm State National Research University. Electronic data. Perm. 191 p. [in Russian].
3. Eprintsev, S. A., Shekoyan, S. V. (2021) Thematic interpretation of satellite images to assess the anthropogenic load of urbanized territories In *Sbornik nauchnykh statei: Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya vozdušnogo basseina krupnykh promyshlennykh gorodov Tsentral'nogo Chernozem'ya [Rossiiskii nauchnyi fond, Voronezhskii gosudarstvennyi universitet]* (pp. 167–179). Voronezh : Tsifrovaya poligrafiya Publ. EDN NXDLCE [in Russian].
4. Ilyushina, T. V., Sizov, A. P. (2023) Investigation of the dynamics of recreational areas of the Samara city district using remote sensing methods. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*, 10, 50–55 DOI 10.22389/0016-7126-2023-1000-10-50-55. EDN LKCODB [in Russian].
5. Kovaleva E. V., Lopachev N. A., Kuz'mina O. S., Teterjadchenko A. I., Kolesnichenko E. Ju. (2021) Monitoring studies of erosion processes in arable fields using de-encryption of satellite images. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy [Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives]*, 3(31), 98–106 EDN JXDDCE [in Russian].
6. Sizov, A. P., Shchukina, V. N. (2024) Decoding images to determine the environmental potential of the territory. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj uchenomu, zemleustroitelju, professoru M.A. Sulinu (v ramkah prazdnovanija 120-letija FGBOU VO SPbGAU): Aktual'nye voprosy razvitija zemleustroitel'noj otrasli [Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the scientist, land surveyor, Professor M.A. Sulin (as part of the celebration of the 120th anniversary of the SPbGAU Federal State Budgetary Educational Institution) : Current issues of the development of the land management industry]* (pp. 42–46). St. Petersburg – Pushkin: St. Petersburg State Agrarian University Publ. EDN XKUYSG [in Russian].

7. Yan, Ju., Zhang, G., Ling, H., Han, F. (2022). Comparison of time-integrated NDVI and annual maximum NDVI for assessing grassland dynamics [*Ecological Indicators*], 136, 108611. DOI 10.1016/j.ecolind.2022.108611. EDN ZJFKWG.
8. Taskuzhina, A., Khusnitdinova, M., Kapytina, A., Moiseev, R., Sagitov, A., Gritsenko, D. (2023). NDVI-based research on Sievers apple trees in the Northern Tien Shan region [*Izvestiy Oshskogo technologicheskogo university*], 2-2, 33–36. EDN BKDIWZ.
9. Arrogante-Funes, P., Osuna, D., Arrogante-Funes, F., Alvarez-Ripado, A., Garcia Bruzon, A. (2024). Uncovering NDVI time trends in Spanish high mountain biosphere reserves: A detailed study [*Journal of Environmental Management*], 355, 120527. DOI 10.1016/j.jenvman.2024.120527. EDN BXGAJA.
10. Ufimtsev, A., Abramov, N. V. (2022) The use of the NDVI coefficient in the precision farming system. In *Sbornik trudov nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii: Integracija nauki i obrazovaniya v agrarnyh vuzah dlja obespecheniya prodovol'svennoj bezopasnosti Rossii* [proceedings of the National Scientific and Practical Conference: Integration of science and education in agricultural universities to ensure food security in Russia] (pp. 228–234). Tyumen: State Agrarian University of the Northern Urals Publ. EDN RBJGDS [in Russian].
11. Kashnitsky, A. V., Antoshkin, A. A., Denisov, P. V. [et al.] (2023) Verification of information on the places of growth of agricultural crops based on the average value of the NDVI index in the field. In *Sbornik materialov X Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii: Regional'nye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli* [Proceedings of the X International Scientific Conference: Regional problems of remote sensing of the Earth] (pp. 102–105). Krasnoyarsk: Siberian Federal University Publ. [in Russian].
12. Rybnikov, P. A., Rybnikova, L. S., Buzina, D. A., Smirnov, A. Y. (2022) Assessment of self-rehabilitation of the territory of the Levikhinsky mine according to the NDVI index. In *Sbornik materialov godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geojekologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii: Sergeevskie chteniya. Fundamental'nye i prikladnye voprosy sovremennogo gruntovedeniya* [Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on Problems of Geoecology, Engineering Geology and Hydrogeology: Sergeyev readings. Fundamental and applied issues of modern soil science] (pp. 422–427). Moscow: Geoinfo Publ. [in Russian].
13. Kurganovich, K. A., Makarov, V. P. (2015) The use of NDVI vegetation indices to assess the effect of fires on vegetation dynamics of the Tsasuchey'sky forest. *Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Transbaikal State University Journal], 2(117), 27–36. EDN TSVNQH [in Russian].
14. Dokuchaeva, V. K., Suchkova, I. A. (2022) Monitoring of the vegetation condition of the territory near Noril'sk CHP-3: NDVI analysis. In *Sbornik materialov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem) k 200-letiju so dnja rozhdeniya N.Ya. Danilevskogo: Issledovaniya Russkogo Severa: jekologiya, istoriya, nasledie* [materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation) on the 200th anniversary of the birth of N.Y. Danilevskoye: The study of the Russian North: ecology, history, heritage]. (pp. 167-173). Vologda: Vologda State University Publ. EDN QOYIUA [in Russian].
15. Hou, Q., Yang Zh. Ji, H., Yu, X. (2022). Impacts of climate change and human activities on different degraded grassland based on NDVI. [*Scientific Reports*], 12 (1), 15918. DOI 10.1038/s41598-022-19943-6. EDN JXPFSJ.
16. Pathan, Sh. A., V, A. (2024) Assessment of Land Use/Land Cover Change and NDVI Analysis in Wokha District, Nagaland, India. [*Human Ecology*], 52, 549–561. DOI 10.1007/s10745-024-00512-6. EDN PNCZRG.

Author details

Alexander P. Sizov – D. Sc., Professor of the Department of Land Management and Cadastre.

Elena G. Chernykh – D. Sc., Associate Professor of the Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Vera N. Shchukina – Ph. D., Associate Professor of the Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Kristina R. Merkurieva – Assistant at the Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Dmitry A. Bukreev – Postgraduate Student of the Department of Geodesy and Cadastral Activity.

Received 09.12.2024

© *A. P. Sizov, E. G Chernyh, V. N. Shchukina,
K. R. Merkurieva, D. A Bukreev, 2025*