

Научная статья

УДК 630.37; 629.5; 630.31.

doi: 10.34655/bgsha.2024.75.2.008

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРУДНОДОСТУПНЫХ ВОДООХРАННЫХ ЛЕСОВ

**Ольга Константиновна Даниленко, Иван Александрович Гарус,
Елена Михайловна Рунова**

Братский государственный университет, Братск, ул. Макаренко, 40, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Михайловна Рунова, runova0710@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы исследования состояния труднодоступных водоохранных лесов на примере Иркутской области с использованием методов дистанционного зондирования (ДЗЗ). Объектом исследования явились лесные массивы в верховьях реки Тарей Братского района Иркутской области, которые отнесены к категории водоохранные леса. Для исследования использовались космические снимки за период с 2020 до 2022 года. Сложность подбора снимков заключалась в наличии облачности, поэтому проанализированы все доступные снимки и выбраны снимки с полным отсутствием облачности. Исследуемый участок рассмотрен по различной рекомбинации каналов. Использовались космоснимки Landsat 8 OLI (ETM+) и Sentinel 2 (MSI S2A), в том числе с использованием инструмента автоматизированной классификации с предварительным обучением по предзагруженным сигнатурам с применением модуля Semi-Automatic Classification Plugin для QGIS версии 3.26. Определен вегетационный индекс растительности NDVI. Для анализа и проведения классификации территории в верховьях р. Тарей использовались снимки высокого разрешения, представленные в открытом доступе, с разрешением 10-30 м. Определение класса природного объекта производилось с учетом определенных по снимкам спектральных отражательных коэффициентов. На основании проведенных исследований определено процентное соотношение различных типов растительности на исследуемой территории, таких как темнохвойные леса, смешанные насаждения, сосновые насаждения, лиственные насаждения, травянистая растительность и кустарники, вырубки. Произведены расчеты индекса вегетационной активности (NDVI) в различные сезоны года, что позволило установить волнообразное изменение индекса и установить, что в водоохранных лесах преобладают приспевающие и спелые насаждения, которые по сравнению с молодняками и средневозрастными насаждениями имеют сравнительно невысокие значения вегетационного индекса.

Ключевые слова: водоохранные леса, методы дистанционного зондирования, вегетационный индекс, классификация, типы растительности.

Original article

USING OF REMOTE SENSING METHODS TO ASSESS HARD-TO-REACH WATER CONSERVATION FORESTS

Olga K. Danilenko, Ivan A. Garus, Elena M. Runova

Bratsk State University, Bratsk, Russia

Corresponding author: Elena M. Runova, runova0710@mail.ru

Abstract. The paper considers the issues of studying the state of hard-to-reach water-protected forests on the example of the Irkutsk region using remote sensing (remote sensing) methods. The object of the study was the forests in the upper reaches of the Tarey River in the Bratsky district of the Irkutsk region, that are classified as water conservation forests. Satellite images from 2020 to 2022 were used for the study. The difficulty in selecting images was the presence of cloud coverage, so all available images were analyzed and images with complete absence of clouds were selected. The studied area was examined according to various channels recombination. Landsat 8 OLI (ETM+) and Sentinel 2 (MSI S2A) satellite images were used, including the usage of the automated classification tool with pre-training on preloaded signatures using the Semi-Automatic Classification Plugin module for QGIS version 3.26. The vegetation index NDVI was determined. To analyze and classify the territory in the upper reaches of the Tarey River, high-resolution images released to the public with a resolution of 10-30 m were used. The class of a natural object was determined taking into account the spectral reflection coefficients defined from the images. Based on the conducted research, the percentage of different types of vegetation in the studied area was identified, such as dark coniferous forests, mixed stands, pine plantations, deciduous stands, herbaceous vegetation and shrubs, cuttings. Calculations of the index of vegetation activity (NDVI) in different seasons of the year were performed, which allowed finding out a wave-like change in the index and pointing predominant presence of ripening and mature stands in water conservation forests, which compared with young and middle-aged stands have relatively low rates of the vegetation index.

Keywords: water conservation forests, remote sensing methods, vegetation index, classification, vegetation types.

Введение. За последнее время возросло количество исследований по оценке состояния лесной растительности с использованием методов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) [1, 2, 3, 4, 5, 6], что связано с повышением качества космических снимков, разработкой новых методов исследования и обработки материалов ДЗЗ [7,8,9,10, 11, 12,13]. В Иркутской области площади водоохранных лесов велики, так как регион имеет большое количество рек и водоемов, в том числе и искусственного происхождения. На территории Иркутской области сосредоточено несколько крупнейших водохранилищ, возникших при строительстве Ангаро-Енисейского каскада ГЭС (Братское, Усть-Илимское, Иркутское). Прибрежные территории часто являются труднодоступными, в связи с чем использование ДЗЗ является востребованным

и актуальным.

Цель исследований – изучение состояния труднодоступных водоохранных лесов Иркутской области методами дистанционного зондирования.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования явились лесные массивы в верховьях реки Тарей Братского района Иркутской области. Анализ производился по летним, осенним и зимним космоснимкам 2020-2022 гг. Landsat 8 OLI (ETM+) и Sentinel 2 (MSI S2A), в том числе с использованием инструмента автоматизированной классификации с предварительным обучением по предзагруженным сигнатурам с применением модуля Semi-Automatic Classification Plugin для QGIS версии 3.26 [13,14, 15].

Основной трудностью получения данных космического мониторинга в 2022 году является повышенный уровень об-

лачности на территории Братского района, поэтому количество качественных снимков на исследуемую территорию, возможных к использованию для анализа, достаточно ограничено. В связи с этим использовались космоснимки двух предыдущих лет. Для анализа и проведения классификации территории в верховьях р. Тарей использовались снимки высокого разрешения, представленные в открытом доступе, с разрешением 10-30 м. Определение класса природного объекта производилось с учетом определенных по снимкам спектральных отражательных коэффициентов. На основании спектральных отражательных коэффициентов определены следующие типы территорий:

хвойные, смешанные и лиственные насаждения, территории, покрытые кустарниковой и травянистой растительностью, зарастающие вырубки, открытые участки. Основными методами проведения геоэкологических исследований являются способы космического исследования территорий при различных комбинациях каналов, а также исследование снимков по индексам NDVI, NDSI. Исследуемый участок рассмотрен по различной рекомбинации каналов. Определен вегетационный индекс растительности NDVI. Для анализа по индексам NDVI были взяты снимки, имеющие спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм).

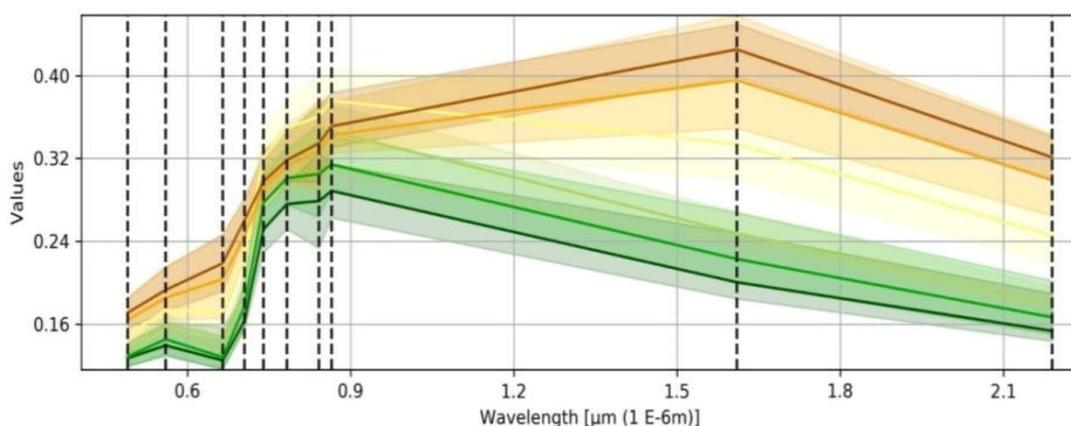


Рисунок 1. График значений NDVI в зависимости от длины волны. По оси y – значения вегетационного индекса, по оси x – длина волны, мкм

Определение класса природного объекта производилось с учетом определенных по снимкам спектральных отражательных коэффициентов, представленных в таблице 1. Значения статистических показателей отражательных способностей рассматриваемых классов также представлены в таблице 1.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований и обработки космических снимков определены статистические показатели отражательной способности исследуемой территории с указанием длины волны, величины вегетационного индекса для каждой длины волны и стандартного отклонения (табл.1).

Как показывают результаты, приве-

денные в таблице 1 темнохвойные насаждения соответствуют размеру 239 пикселей, сосновые насаждения – 93 пикселя, смешанные насаждения – 211 пикселей, лиственные насаждения – 513, территории, покрытые кустарниковой и травянистой растительностью, – 39, зарастающие вырубки – 142 пикселя. В результате анализа исследуемой территории по материалам ДЗЗ установлено, что темнохвойные леса занимают 13,7% от исследуемой территории, чистые сосновые насаждения составляют 1,6%, смешанные насаждения занимают 26,4% от площади участка, лиственные древостои – 21,3%, вырубками занято 15,7% исследуемой территории, остальная территория занята кустарниками и травами.

Таблица 1 – Статистические данные по отражательной способности хвойных насаждений на исследуемой территории

C_name = «Темнохвойные насаждения» ROI_size = 239 pixel										
Длина волны [E-6m]	0,49	0,56	0,665	0,705	0,74	0,783	0,842	0,865	1,61	2,19
Величина NDVI	0,009	0,019	0,010	0,037	0,104	0,122	0,129	0,132	0,06	0,034
Стандартное отклонение	0,002	0,004	0,002	0,004	0,009	0,010	0,016	0,011	0,004	0,002
C_name = «Сосновые насаждения» ROI_size = 93 pixels										
Длина волны [E-6m]	0,49	0,56	0,665	0,705	0,74	0,783	0,842	0,865	1,61	2,19
Величина NDVI	0,010	0,025	0,012	0,048	0,155	0,189	0,200	0,204	0,074	0,033
Стандартное отклонение	0,003	0,006	0,005	0,008	0,011	0,012	0,022	0,013	0,011	0,006
C_name = «Смешанные насаждения» ROI_size = 211 pixels										
Длина волны [E-6m]	0,49	0,56	0,665	0,705	0,74	0,783	0,842	0,865	1,61	2,19
Величина NDVI	0,013	0,031	0,022	0,059	0,142	0,164	0,183	0,183	0,09	0,048
Стандартное отклонение	0,003	0,006	0,006	0,007	0,009	0,010	0,017	0,010	0,011	0,006
C_name = «Лиственные насаждения» ROI_size = 513 pixels										
Длина волны [E-6m]	0,49	0,56	0,665	0,705	0,74	0,783	0,842	0,865	1,61	2,19
Величина	0,017	0,046	0,030	0,087	0,17	0,200	0,211	0,214	0,100	0,046
Стандартное отклонение	0,004	0,016	0,011	0,025	0,03	0,038	0,048	0,039	0,014	0,006
C_name = «Территории, покрытые кустарниковой и травянистой растительностью» ROI_size = 39 pixels										
Длина волны [E-6m]	0,49	0,56	0,665	0,705	0,74	0,783	0,842	0,865	1,61	2,19
Величина	0,017	0,032	0,025	0,060	0,122	0,138	0,152	0,155	0,107	0,057
Стандартное отклонение	0,002	0,005	0,005	0,006	0,008	0,009	0,017	0,010	0,008	0,005
Показатель C_name = «Зарастающие вырубki» ROI_size = 142 pixels										
Длина волны [E-6m]	0,49	0,56	0,665	0,705	0,74	0,783	0,842	0,865	1,61	2,19
Величина	0,025	0,046	0,045	0,105	0,186	0,210	0,232	0,240	0,204	0,116
Стандартное отклонение	0,004	0,007	0,009	0,012	0,017	0,019	0,026	0,022	0,032	0,020

Синтез каналов 4-3-2 (Red, Green, Blue) естественные цвета (рис.7.2) – дает восприятие человеческого глаза. Здоровая растительность имеет зеленый цвет, ослабленные насаждения окрашены коричневым и желтым цветом, дороги – серым цветом (рис. 1).

На рисунке 2б темнохвойные насаждения имеют насыщенный темно-зеленый цвет, сосновые насаждения – темно-зеленый оттенок, смешанные насаждения окрашены интенсивно-зеленым цветом. Лиственные насаждения окрашены светло-зеленым цветом, территории, покрытые травянистой растительностью и кус-

тарниками, окрашены в желтый цвет, вырубki – красно-коричневого цвета.

На рисунке 3а представлен снимок исследуемой территории в комбинации каналов 7-5-3 (SWIR, NIR, Green). На этом снимке можно определить территории, пройденные пожарами (они окрашены в красный цвет). На снимке не обнаружено площадей, пройденных лесными пожарами. Здоровая растительность имеет насыщенный зеленый цвет, коричневые цвета характерны для изреженной растительности. Розовым или сиреневым оттенком обозначены вырубki с поврежденным растительным покровом. На этом сним-

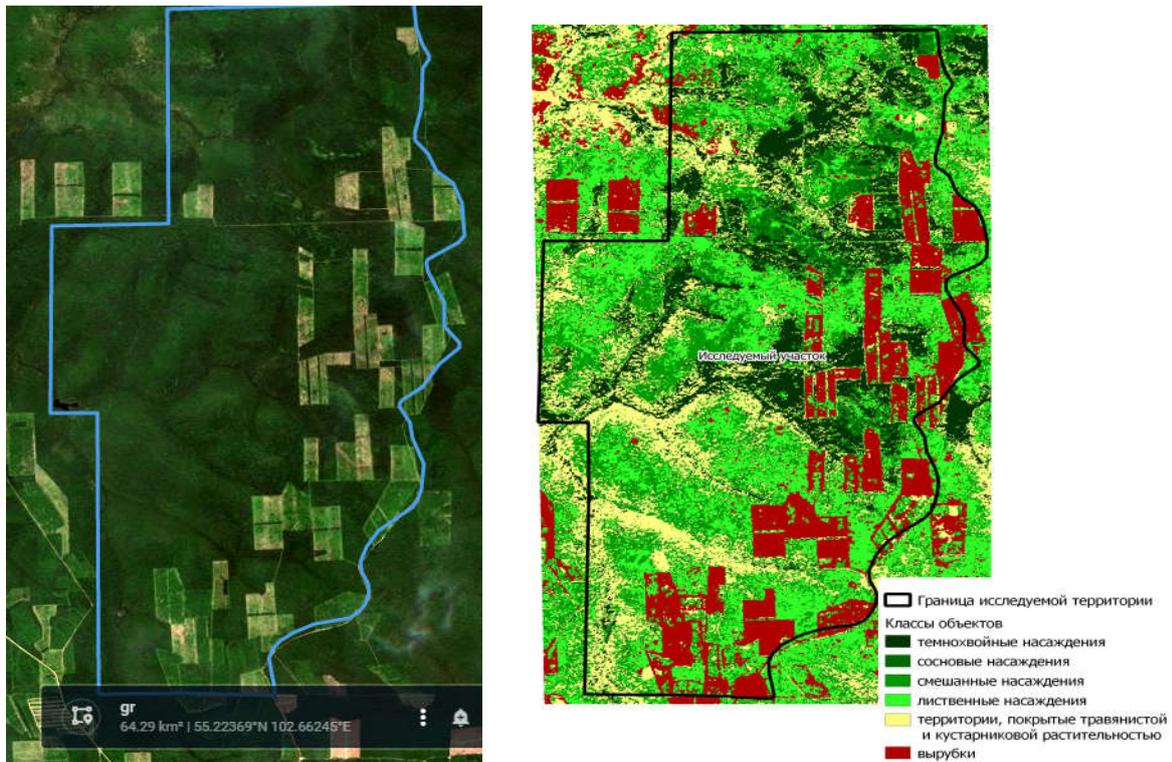


Рисунок 2: а) снимок в синтезе каналов 4-3-2 (естественные цвета) на снимке Sentinel 2 L2A (дата съемки: 12.06.2022); б) снимок в синтезе каналов 3 (NIR, Red, Green) использовался для классификации насаждений исследуемого участка

ке можно определить давность вырубки: свежие вырубки окрашены розовым цветом, зарастающие вырубки имеют вкрап-

ления зеленого цвета на фоне светло-розовых участков.

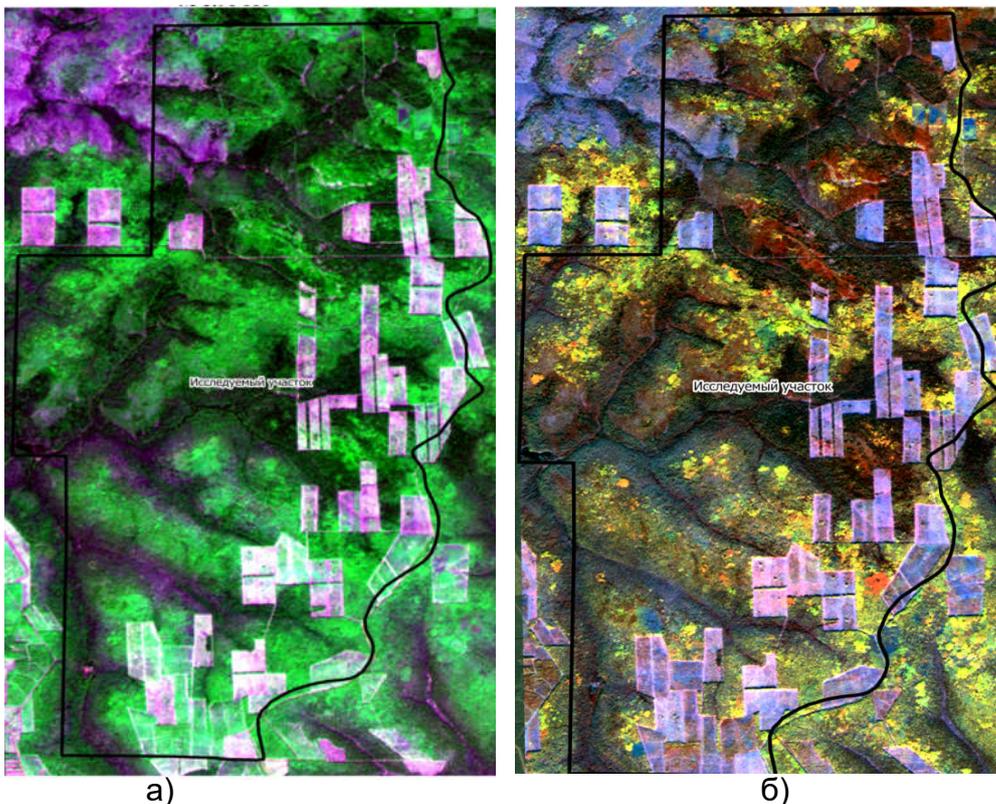


Рисунок 3: а) результат синтеза каналов (SWIR, NIR, Green) на снимке Landsat 8 OLI (дата съемки 12.05.2022); б) синтез каналов 5-6-2 (NIR, SWIR, Blue) на снимке Sentinel-2 L2A (дата съемки 15.09.2020).

На рисунке 3б представлен результат синтеза каналов 6-5-4 (SWIR, NIR, Blue). Данная комбинация обычно используется для детального изучения растительных сообществ, которые выделяются по разному образно окрашенным участкам. На таких снимках растительность имеет различные оттенки зеленого цвета, почвы окрашены в различные оттенки розового цвета.

Для анализа исследуемой территории по индексам вегетационной активности (рис. 4) значения определялись по различным фенологическим фазам за несколько лет наблюдений. По результатам анализа был выведен график изменения индексов NDVI (рис. 5) за период с января 2020 года по июнь 2022 года (исходные данные представлены в табл. 2).

Таблица 2 – Значения вегетационного индекса исследуемого участка

Дата съемки	NDVI min	NDVI max	NDVI среднее
2019-12-18	-0,0636	0,3026	0,1245
2020-09-15	-0,4615	0,7733	0,5704
2021-02-22	0,0314	0,4649	0,2507
2021-04-11	-0,0867	0,7445	0,2971
2021-04-20	-0,3399	0,72	0,2984
2021-04-27	-0,3688	0,6927	0,2919
2021-09-18	-0,5413	0,7811	0,5606
2021-12-23	-0,296	0,5323	0,1912
2022-02-09	-0,0517	0,4059	0,1868
2022-02-25	-0,1153	0,7082	0,3357
2022-05-16	-0,1103	0,6204	0,4527

Анализ индексов вегетационной активности в период активной фазы вегетации показал, что насаждение на исследуемой территории функционирует достаточно стабильно, без снижения индекса ниже критического уровня, погибших на-

саждений на территории не обнаружено. Однако средняя величина индекса NDVI за наблюдаемый период не превышает 0,57, что говорит о том, что насаждение находится в возрасте спелого или перестойного насаждения.

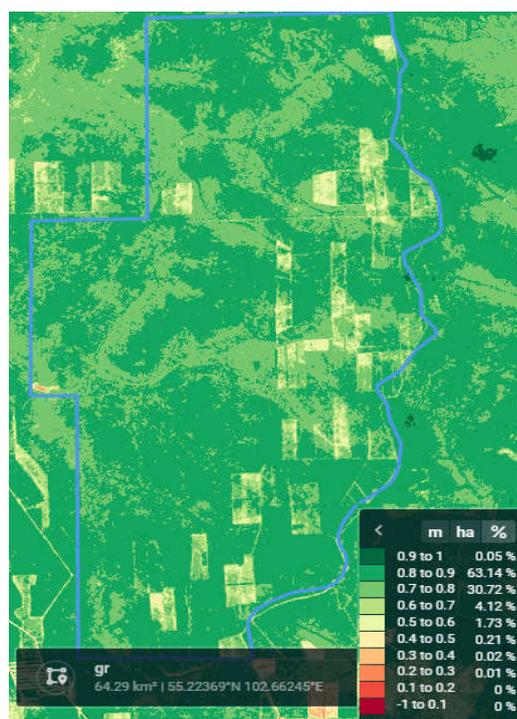


Рисунок 4. Картографическое изображение состояния исследуемого участка на основе распределения индексов NDVI (на базе снимка Sentinel 2 L2A, дата съемки 12.06.2022)

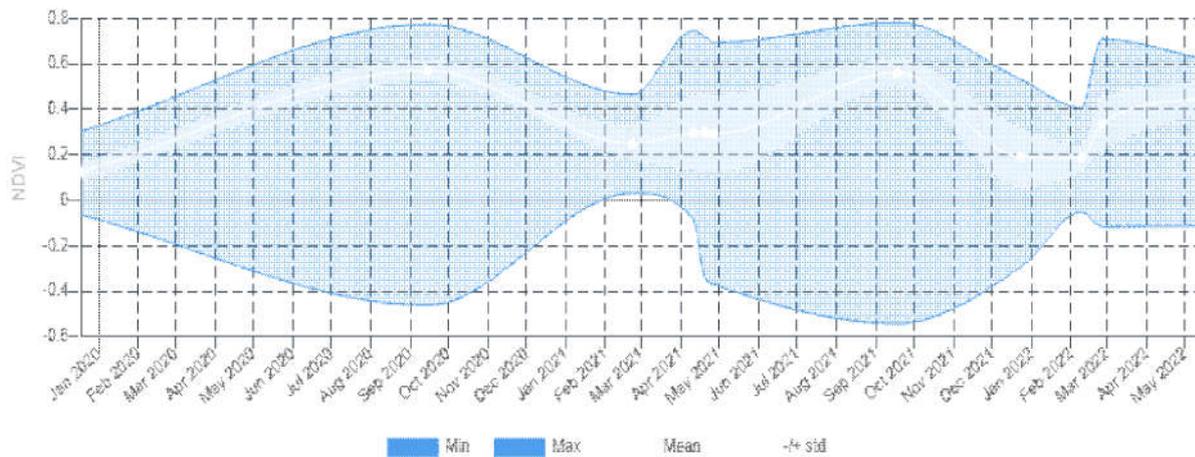


Рисунок 5. Индексы вегетационной активности на исследуемом участке за период с июня 2020 года до марта 2022 года

На основании анализа индексов вегетационного развития очевидна волнообразная динамика. В зимние месяцы и в начале весны (декабрь, январь, февраль, март, апрель) индексы NDVI минимальные, в летние – максимальные.

На основании проведенного дистанционного зондирования труднодоступных водоохранных лесов Иркутской области на примере лесных массивов в верховьях реки Тарей Братского района Иркутской области можно сделать следующие **выводы**:

1. Определен примерный состав лесных насаждений на исследуемом участке в процентном соотношении. Темнохвойные леса с преобладанием ели, пихты, сосны сибирской кедровой занимают 13,7% от исследуемой территории, чистые сосновые насаждения составляют 1,6 %, смешанные насаждения занимают 26,4% от площади участка, лиственные

древостои – 21,3%, вырубками занято 15,7% исследуемой территории, остальная территория занята кустарниками и травами.

2. На территории водоохранных лесов необоснованно проводились сплошные рубки под видом санитарных рубок, о чем свидетельствуют дешифрованные снимки.

3. Средний вегетационный индекс свидетельствует о том, что среди насаждений преобладают приспевающие и спелые насаждения; наименьшее значение индекса NDVI имеют вырубки.

4. По дешифрованным снимкам можно определить давность вырубки и степень их зарастания.

5. Использование методов ДЗЗ для предварительной оценки труднодоступных лесных массивов имеют существенные перспективы.

Список источников

1. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ / С.А. Барталев, В.А. Егоров, В.Ю. Ефремов, Е.А. Лупян, Ф.В. Стыценко, Е.В. Флитман // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. № 2. С. 9-26. EDN: PVBEMV

2. Барталев С.А. Состояние и перспективы развития методов спутникового картографирования растительного покрова России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 203-221. EDN:UZNSZ

3. Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 года в Среднем Поволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 217-229. EDN: TJELAL

4. Дистанционный мониторинг устойчивости лесных экосистем: монография / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, Е.Н. Демишева, С.А. Меньшиков, М.С. Али, Л.Н. Смирнова, Л.В. Тарасова. Йошкар-Ола:

- Поволжский государственный технологический университет, 2019а. 166 с. EDN: TREFHJ
5. Оценка динамики и нарушенности лесного покрова в Среднем Поволжье по снимкам Landsat / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, Ю.А. Полевщикова, С.А. Лежнин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 124-134. EDN: WMIXJZ.
doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-124-134
 6. Даниленко О.К., Гарус И.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687640 Российская Федерация. Первичная обработка данных аэрофотосъемки лесных насаждений (DataFotoLes v. 1.1) : № 2023684763 : заявл. 20.11.2023 : опубл. 18.12.2023. EDN: SNVDHQ
 7. Пространственная классификация преобладающих древесных пород на территории Самарской области по данным Sentinel-2 и таксации леса / А.Ю. Денисова, Л.М. Кавеленова, Е.С. Корчиков, Н.В. Прохорова, Д.А. Терентьева, В.А. Федосеев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 86–101. EDN: SCXVXE. doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-86-101
 8. Жарко В.О., Барталев С.А., Егоров В.А. Исследование возможностей оценки запасов древесины в лесах Приморского края по данным спутниковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 157-168. EDN: RSDXFN.
doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-157-168
 9. Жирин В.М., Князева С.В., Эйдлина С.П. Динамика спектральной яркости породно-возрастной структуры групп типов леса на космических снимках Landsat // Лесоведение. 2014. № 4. С. 3-12. 20. EDN: SQBWXJ
 10. Козодеров В.В., Дмитриев Е.В. Модели распознавания и оценки состояния лесной растительности по гиперспектральным данным дистанционного зондирования // Исследования Земли из космоса. 2017. № 6. С. 78-88 EDN: ZVMLOL. doi: 10.7868/S0205961417060070
 11. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1(21). С. 18-32. EDN: RXHHFP
 12. Рахматуллин З.З., Рахматуллина И.Р., Габделхаков А.К. Картографические методы исследований объектов природы // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. № 4. С. 100-110. EDN: PRXRQE
 13. Рунова Е.М., Гарус И.А. Современное состояние водоохранных лесов Братского района Иркутской области // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2023. Т. 27, № 6. EDN: YSNYME.
doi: 10.18698/2542-1468-2023-6-31-39
 14. 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. EDN: ZQQLFL.
doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-112-124
 15. Терехин Э.А., Постернак Т.С. Процессы лесовозобновления на залежных землях юга Западной Сибири и их анализ с применением данных дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 161–172. EDN: NYERXR.
doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-161-172

References

1. Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Lupyan E.A., Stytsenko F.V., Flitman E.V. Assessment of the area of fires based on the integration of satellite data of various spatial resolutions MODIS and Landsat-TM/ETM+. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2012; Vol.9; No2:9-26 (In Russ.)
2. Bartalev S.A. The state and prospects of development of methods of satellite mapping of the vegetation cover of Russia. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2015; Vol.12; No5:203-221 (In Russ.)
3. Vorobyov O.N., Kurbanov E.A., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A., Demisheva E.N. Methodology for identifying the degree of damage to trees after the fires of 2010 in the Middle Volga region. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2014; Vol.11.No4:217-229 (In Russ.)
4. Vorobyov O.N., Kurbanov E.A., Demisheva E.N., Menshikov S.A., Ali M.S., Smirnova L.N., Tarasova L.V. Remote monitoring of the stability of forest ecosystems: monograph. Yoshkar-Ola: Volga State Technological University, 2019a. 166 p. (In Russ.)
5. Vorobyov O.N., Kurbanov E.A., Polevshchikova Yu.A., Lezhnin S.A. Assessment of the dynamics and disturbance of forest cover in the Middle Volga region from Landsat images. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2016; Vol.13.No4:124-134 (In Russ.)
doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-124-134
6. Danilenko O.K., Garus I.A. Certificate of state registration of a computer program No. 2023687640 Russian Federation. Primary processing of aerial photography data of forest plantations (DataFotoLes v. 1.1):

No. 2023684763: application. 11/20/2023: publ. 12/18/2023 (In Russ.)

7. Denisova A.Yu., Kavelenova L.M., Korchikov E.S., Prokhorova N.V., Terentyeva D.A., Fedoseev V.A. Spatial classification of the predominant tree species in the Samara region according to Sentinel-2 data and forest taxation. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2019;Vol.16;No.4:86-101 (In Russ.) doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-86-101

8. Zharko V.O., Bartalev S.A., Egorov V.A. Investigation of the possibilities of estimating wood reserves in the forests of the Primorsky Territory according to the data of the Proba-V satellite system. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2018;Vol.15;No1:157-168 (In Russ.)

doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-157-168

9. Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P. Dynamics of spectral brightness of the breed-age structure of groups of forest types on Landsat satellite images. *Forest science*. 2014;4:3-12 (In Russ.)

10. Kozoderov V.V., Dmitriev E.V. Models for recognizing and assessing the state of forest vegetation using hyperspectral remote sensing data. *Earth exploration from space*. 2017;6:78-88 (In Russ.)

doi: 10.7868/S0205961417060070

11. Kurbanov E.A., Vorobyov O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevshchikova Yu.A., Demisheva E.N. Four decades of forest research based on Landsat images. *Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Les. Ecology. Environmental management*. 2014;1(21):18-32 (In Russ.)

12. Rakhmatullin Z.Z., Rakhmatullina I.R., Gabdelkhakov A.K. Cartographic methods of research of nature objects. *Forest ecosystems in conditions of climate change: biological productivity and remote monitoring: collection of scientific articles*. Yoshkar-Ola: PGTU, 2018;4:100-110 (In Russ.)

13. Runova E. M., Garus I. A. Current state of water protection forests of the Bratsk district of the Irkutsk region. *Forest Bulletin. Forestry Bulletin*. 2023;V.27; No6: (In Russ.). doi: 10.18698/2542-1468-2023-6-31-39

14. Terekhin E.A. Assessment of the disturbance of forest ecosystems in the south-west of the Central Russian Upland using space survey materials. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2017;Vol.14, No 4:112-124 (In Russ.). doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-112-124

15. Terekhin E.A., Posternak T.S. Reforestation processes on fallow lands in the south of Western Siberia and their analysis using remote sensing data. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2019;Vol.16;No4:161-172 (In Russ.) doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-161-172

Информация об авторах

Ольга Константиновна Даниленко – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов;

Иван Александрович Гарус – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов;

Елена Михайловна Рунова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов;

Information about the authors

Olga K. Danilenko – Candidate of technical sciences, associate professor of the basic department of reproduction and processing of forest resources;

Ivan A. Garus – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Basic Department of Reproduction and Processing of Forest Resources;

Elena M. Runova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Reproduction and Processing of Forest Resources.

Статья поступила в редакцию 28.03.2024; одобрена после рецензирования 18.04.2024; принята к публикации 23.04.2024.

The article was submitted 28.03.2024; approved after reviewing 18.04.2024; accepted for publication 23.04.2024.