

Н.Б. Маханова^{1*}, Ж.Г. Берденов¹
А.Б. Сансызбаева³, А.Б. Сагынбаева⁴

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, Казахстан, г. Нур-Султан

²Павлодарский педагогический университет, Казахстан, г. Павлодар

³Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы

*e-mail: makhanova.nursaule@mail.ru

ОЦЕНКА СТРУКТУРНОЙ ДИНАМИКИ СОСНОВОГО БОРА АМАНКАРАГАЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Статья отражает динамику структуры лесных массивов с помощью методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Территория исследования представлена островным сосновым бором Аманкарагай, расположенным в Аулиекольском районе Костанайской области Казахстана. Авторами рассматривались изменения лесистости во временном промежутке с 1993 года по 2021 год. Источники данных представлены мультиспектральными каналами, полученными со спутников Landsat 5 TM и Landsat 8 OLI. Метод исследования основывался на картографической модели плотности полога леса (Forest Canopy Density – FCD). Модель FCD актуальна для оценки состояний лесов и выявления изменений в них. Она использует 4 фактора: растительность, оголенность почвы, тень от лесной кроны и температуру, выражающиеся в соответствующих индексах. Расширенный индекс растительности (Advanced vegetation index – AVI), индекс открытой почвы (Bare soil index – BI), индекс тени от кроны (Canopy shadow index – SI) и тепловой индекс (Thermal index – TI) являются исходными параметрами для вычисления лесной кроны. Подсчеты велись с помощью программного обеспечения ArcGIS Desktop v10.6. Итоговые результаты исследования показали распределение плотности лесных массивов в исследуемой территории по следующим категориям: плотный, средний, разреженный леса и безлесье.

Ключевые слова: хвойный лес, Аманкарагай, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), плотности полога леса, модель FCD, Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI.

N.B. Makhanova^{1*}, Zh.G. Berdenov¹, A.B. Sansyzbayeva², A.B. Sagynbayeva³

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Nur-Sultan

²Pavlodar Pedagogical University, Kazakhstan, Pavlodar

³Kazakh national agrarianresearch university, Kazakhstan, Almaty

*e-mail: makhanova.nursaule@mail.ru

Assessment of the structural dynamics of the Amankaragai pine forest using remote sensing data

The article reflects the dynamics of the structure of woodlands, using methods of remote sensing of the Earth (remote sensing). The research area is represented by the Amankaragai island pine forest, located in the Auliekolsky district of the Kostanay region of Kazakhstan. Changes in forest cover in the time interval from 1993 to 2021 were considered. Data sources are represented by multispectral channels received from Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI satellites. The research method was based on a cartographic model of Forest Canopy Density (FCD). The FCD model is relevant for assessing the state of forests and identifying changes in them. It uses 4 factors: vegetation, soil denudation, shade from the forest crown and temperature, expressed in the corresponding indices. The Advanced vegetation index (AVI), the open soil index (Bare soil index - BI), the Canopy shadow index (SI) and the thermal index (Thermal index - TI) are the initial parameters for calculating the forest crown. The calculations were carried out using the ArcGIS Desktop v10.6 software. The final results of the study showed the distribution of the density of woodlands in the study area in the following categories: dense, medium, sparse forests and treeless.

Key words: coniferous forest, Amankaragai, remote sensing of the Earth (remote sensing), density of the forest canopy, FCD model, Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI.

Н.Б. Маханова^{1*}, Ж.Г. Берденов¹, А.Б. Сансызбаева², А.Б. Сагынбаева³

¹А.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ.

²Павлодар педогогикалық университеті, Қазақстан, Павлодар қ.

³Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Қазақстан, Алматы қ.

*e-mail: makhanova.nursaule@mail.ru

Қашықтықтан зондтау деректерін қолдана отырып, Аманқарағай қарағайлы орманының құрылымдық динамикасын бағалау

Мақалада Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) әдістерінің көмегімен орман алқаптары құрылымының динамикасы сипатталған. Зерттеуде аумағы Қазақстанның Қостанай облысы Әулікөл ауданында орналасқан Аманқарағай қарағайлы оқшауланған орманы ұсынылған. 1993 жылдан 2021 жылға дейінгі уақыт аралығындағы орманды алқаптағы өзгерістер қарастырылды. Деректер көздері Landsat 5 TM және Landsat 8 OLI спутниктерінен алынған көп спектрлі арналармен ұсынылған. Зерттеу әдісі орман шымылдығы тығыздығының картографиялық моделіне негізделген (Forest Canopy Density – FCD). FCD моделі ормандардың жағдайын бағалауға және олардағы өзгерістерді анықтауға арналған. Ол 4 факторды пайдаланады: өсімдік, топырақтың жалаңаштығы, орман шымылдықты көлеңке және тиісті индекстерде көрсетілген температура. Өсімдіктердің кеңейтілген индексі (Advanced vegetation index – AVI), ашық топырақ индексі (Bare soil index – BI), шымылдықты көлеңке индексі (Canopy shadow index – SI) және жылу индексі (Thermal index – TI) орман шымылдығын есептеу үшін бастапқы параметрлер болып табылады. Есептеулер ArcGIS Desktop v10. 6 бағдарламалық жабдығы арқылы жүргізілді. Зерттеудің қорытынды нәтижелері зерттелетін аумақтағы орман алқаптарының тығыздығының төмендегідей санаттар бойынша бөлінуін көрсетті: тығыз, орташа, сиретілген және ормансыз.

Түйін сөздер: қылқан жапырақты орман, Аманқарағай, Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ), орман шымылдығының тығыздығы, FCD моделі, Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI.

Введение

Планирование и осуществление восстановительных работ лесных угодий в условиях глобального потепления климата являются сегодня одной из актуальных проблем. Лесные ландшафты благодаря аккумуляции солнечной энергии сосредотачивают в себе наибольшее количество фитомассы по сравнению со степными или другими группами ландшафтов. Однако, ежегодная производительность фитомассы лесов в десятки раз меньше тех же самых степей. Высокая когерентность между компонентами экосистемы характерна исключительно для лесных ландшафтов. Следовательно, при нарушении функционирования одного из компонентов изменению подвергаются все остальные, так как здесь наиболее резко проявляется способность организмов создавать среду своего обитания (Берденов Ж.Г., 2020: 130-131).

В изучении компонентов природной среды большую роль играет ДЗЗ с космических летальных аппаратов. За последнее десятилетие существенно возросли объем, разнообразие и качество материалов ДЗЗ и, как следствие, расширился круг приложений, относящихся к исследованиям окружающей среды. По качественным свойствам космических изображений земной поверхности идентифицируются ара-

лы распространения природных явлений и процессов в пределах ландшафтов, при этом отображается состояние и динамика водных объектов, растительности, почв, рельефа, лесов. Возможности получения сведений о техногенной нарушенности ландшафтов достаточно обширны – это гари, пожары, выпас скота, неконтролируемые вырубki деревьев, горнопроходческое выработки, различные виды загрязнения, захоронения радиоактивных отходов и т.п. (Берденов Ж.Г., 2020: 13-14; Бекетова А.Т., 2020: 68-69; Карпачев А.П., 2016).

Используемая в нашем исследовании модель плотности полога леса Forest Canopy Density (далее по тексту – FCD) является на сегодня новейшим и актуальным методом ДЗЗ. Концепция FCD была изложена в рамках осуществления исследовательской программы Международной организации тропической древесины – ИТТО (А. Rikimaru, 1999 а: 90). При содействии специалистов из Японской ассоциации зарубежных консультантов по лесному хозяйству – JOFCA данная модель предусматривала использование качественных индексов растительности, почвы и тени (А. Rikimaru, 1997 б). Окончательно методика исследования сформировалась посредством сотрудничества с представителями Индийского института ДЗЗ – NRSA (P.S. Roy, 2002: 39-47).

Прикладные исследования лесных массивов были протестированы в Индии – остров Южный Андаман (P.S. Roy, 1997), в Индонезии – западная часть острова Калимантан (Rhuandha A.), в Филиппинах – острова Миндоро и Палаван (Vilgilio Basa) и в восточных лесах Тайланда (Sura-chai R.).

Исследователи продолжили развивать и применять модель FCD в широколиственных лесах Северного Ирана (M. S. Jamalabad, 2001: 1-7).

Теоретическая значимость работы определяется возможностью применения модели FCD для оценки состояния борельных лесов Казахстана.

Объектом исследования выбран реликтовый островной сосновый бор Аманкарагай, распо-

ложенный в Аулиекольском районе Костанайской области. Географический центр объекта – 52°27'10" с.ш. и 63°56'20" в.д. (Рисунки 1, 2). Сосна обыкновенная (*Pinus Sylvestris* L.), произрастающая на аллювиально-эоловых песках, является главным представителем среди древесных пород. Климат района резко континентальный, засушливый, с большой амплитудой температуры между временами года (Костанай облысының ..., 2018: 27-35). Согласно данным метеостанции Костаная, среднегодовые осадки составляют 310 мм в год (URL1: 2022). Возраст данных островных боров по данным радиоуглеродного датирования относится к промежутку между 6000-4500 лет назад (Kremenetski C., Tarasov P. & Cherkinsky A. 1997: 390-404).

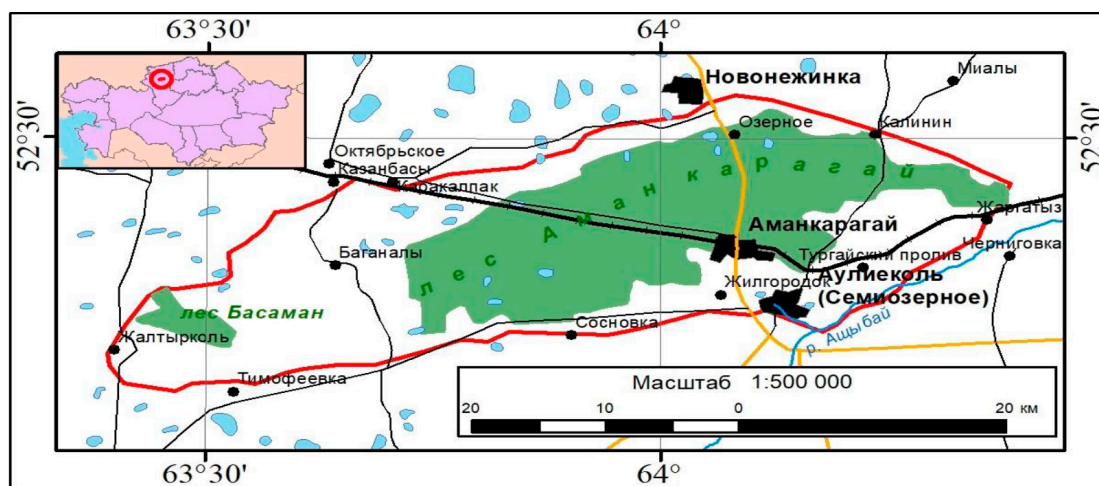


Рисунок 1 – Обзорная карта исследуемой территории

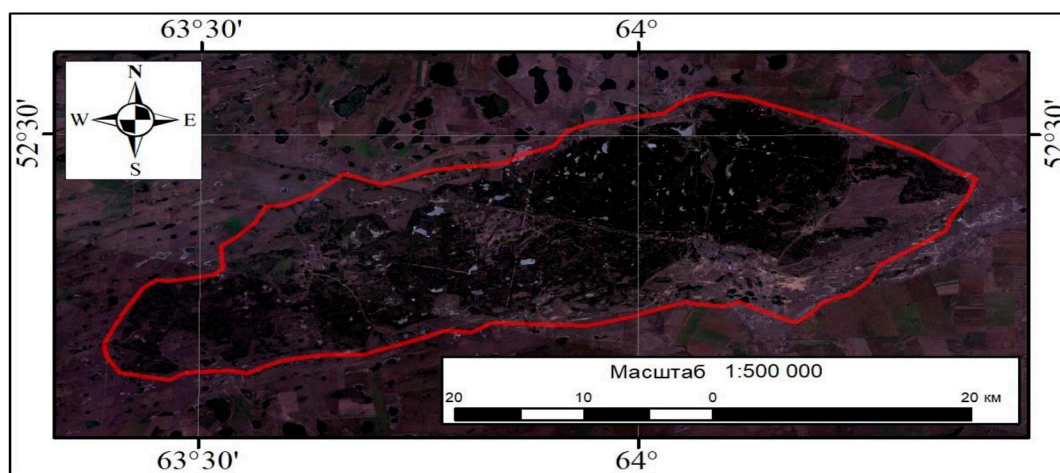


Рисунок 2 – Космоснимок исследуемой территории

Цель работы заключается в количественной и качественной оценке лесного массива, который подвергся изменению за 1993-2021 гг. Задачи, поставленные перед исследованием, состоят в следующем: выявить нарушенные площади лесных угодий, попытаться определить участки потенциально пригодных для воспроизводства лесов и лесоразведению.

Материалы и методы исследования

Источником данных являлись многоспектральные космические снимки земной поверхности Геологической службы США спутников за 1993 год – Landsat 5 TM и за 2021 год – Landsat 8 OLI (URL2: 2021). Космические снимки были геометрически и географически корректно привязаны к местности.

Обработка, дешифрирование, нормализация значений каналов и вычисления качественных индексов выполнялись в программах ENVI 5.2 и ArcGIS 10.6.

Уменьшение шума. Облака, тень от облаков и территории, занятые водой, являются естественным информационным шумом в данных космоснимков. Облака имеют более высокое свойство отражения, чем наземные данные. Кроме того, количество отражаемых данных меняется в зависимости от того, белые ли облака, серые, черные или сочетание разных оттенков. Эти факторы отрицательно влияют на статис-

тическую обработку и анализ космоснимков. Более того, тень от облаков можно спутать с тенью от гор либо других неровностей земной поверхности. Эти проблемы могут быть сведены к минимуму путем создания фильтрации облачной сцены и создания отсекающей теневой маски с использованием гистограммы на основе данных, полученных из каналов 1, 2 и 3 TM. Водные объекты создают подобные проблемы, поскольку вода поглощает ближний инфракрасный диапазон спектра. Кроме того, эритрофицированные водоёмы и болота могут отражать высокие значения растительности, что также может ввести в заблуждение. Водоёмы тоже должны отсекается маской с использованием гистограммы канала 4 TM.

Применяемая в исследовании модель плотности полога леса FCD основывается на качественных параметрах и характеристиках состояния лесов. Данная модель включает в себя биоспектральные явления моделирования и комбинацию полученных данных из 4 индексов: расширенный индекс растительности (Advanced vegetation index – AVI, VI), индекс открытой почвы (Bare soil index – BI), индекс тени от полога леса (Canopy shadow index - SI) и тепловой индекс (Thermal index – TI).

Вышеназванные индексы имеют некоторые характеристики описанные и иллюстрированные ниже. В рисунке №3 отражена взаимосвязь между состоянием леса и четырьмя индексами (AVI, BI, SI, и TI).

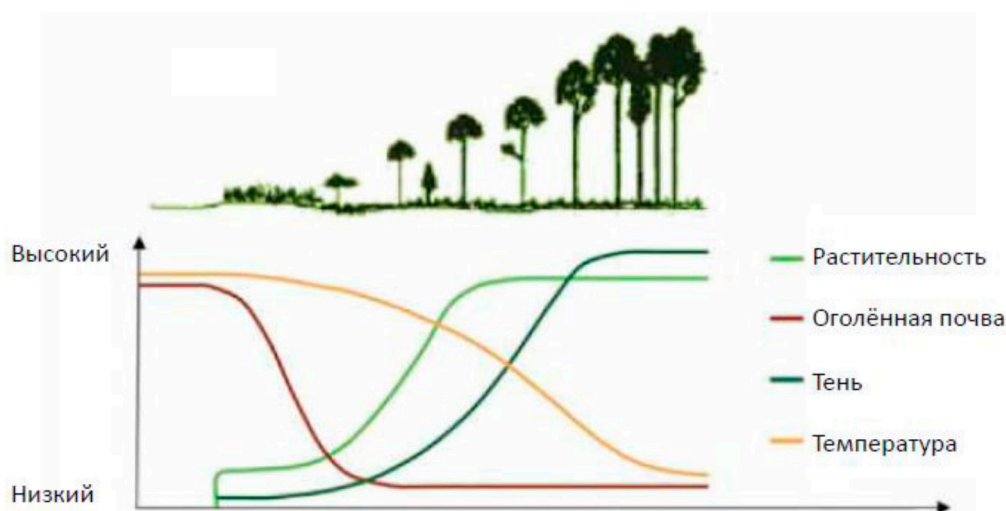


Рисунок 3 – Характеристики четырёх параметров состояния леса

Индекс растительности (AVI или VI) одинаково реагирует на содержание хлорофилла как в древесной растительности лесного массива, так и в травянистой растительности, произрастающей на открытых лугах. Индекс AVI более восприимчиво реагирует на растительность по сравнению со стандартизированным индексом NDVI (Pandian, M, 2016: 1-4). Индекс тени возрастает пропорционально увеличению плотности полого леса. Тепловой индекс возрастает пропорционально возрастанию количества растительности, при этом территории с наличием почв чёрного цвета отражают высокие значения температуры. Индекс открытой почвы возрастает пропорционально увеличению степени обнажения почвенного грунта, т.е. выхода на дневную поверхность. Показатели индексов вычисляются для каждой ячейки раstra (пикселя).

Следует отметить, что значения FCD возрастают соответственно возрастанию значений SI. Иначе говоря, где наблюдается большое количество древесной растительности, там больше образуется тень. В то же время, где наблюдается меньше открытой почвы, т.е. низкие значения BI, соответственно там снижается значение температуры – TI. Также отметим, что значения индекса растительности – VI «насыщаются» раньше, чем тени – SI. Упрощённо говоря, это означает, что максимальное значение VI могут не коррелироваться с плотностью деревьев или лесов. С другой стороны, значения SI первостепенно зависят от количества высокой растительности, как деревья, которые отбрасывают точные показатели тени (Z. Azizia, 2008: 1127–1130). В таблице 1 показаны сочетания характеристик между 4 индексами.

Таблица 1 – Характеристики показателей 4 индексов

Индексы	Высокий FCD	Низкий FCD	Земли, покрытые травой	Пустые земли
AVI	Высокий	Средний	Высокий	Низкий
BI	Низкий	Низкий	Низкий	Высокий
SI	Высокий	Средний	Низкий	Низкий
TI	Низкий	Средний	Средний	Высокий

Нормализация каналов спутника Landsat 5 TM. Спектральные каналы (за исключением 6 канала) были нормализованы с использованием метода линейного преобразования (формулы 1 и 2).

$$A=(Y_1-Y_2)/(X_1-X_2)=(20-220)/[(M-2S)-(M+2S)]=50/S \quad (1)$$

$$V=-AX_1+Y_1; Y=AX+B \quad (2)$$

где, $X_1=M-2S$, $X_2=M+2S$, $Y_1=20$, $Y_2=220$;

где M – среднее, S – стандартное отклонение, X – исходные данные, Y – нормализованные данные.

Индекс AVI. Индекс NDVI не способен осветить тонкую разницу в плотности полого леса (W. Cuizhen, 2005: 1-17). Это стало возможным благодаря его улучшению в виде возведения инфракрасных значений в степень кубического корня. Индекс AVI рассчитывается по формуле 3.

$$AVI=[(B_4+1)(256-B_3)(B_4-B_3)]^{1/3},$$

если $B_4 < B_3$ после нормализации, тогда

$$AVI=0 \quad (3)$$

Индекс BI. Показатели этого индекса усиленно отражают территории с отсутствием почвенно-растительного слоя, земли под паром, вскрытые грунты, заметные под растительностью. Подобно концепции индекса AVI, индекс обнажённой почвы BI – это нормализованный индекс и разностных сумм, который дифференцирует две разные значения растительности с разным фоном, а именно, – почти пустой, разреженный, плотный и т. п (S. Li, 2014: 139-144). Индекс BI рассчитывается по формуле 4.

$$BI= \frac{((B_5+B_3)-(B_4+B_1))}{((B_5+B_3)+(B_4+B_1))} * 100 + 100; \quad 0 < BI < 200 \quad (4)$$

Индекс SI. Расположение кроны в древостое приводит к образованию теневой структуры, влияющей на спектральные характеристики. Молодые деревья имеют низкие значения индекса

тени SI по сравнению с зрелыми деревьями. Более старый древостой в лесу имеет ровное и однообразное распределение на графике в сравнении с открытой местностью с практически отсутствующей тенью. SI вычисляется по формуле 5.

$$SI = [(256 - B_1)(256 - B_2)(256 - B_3)]^{1/3} \quad (5)$$

Индекс TI. Два фактора объясняют относительно низкую температуру внутри леса. Одним из них является экранирующий эффект лесной кроны, которая блокирует и поглощает энергию солнца. Вторым фактором является испарение с поверхности листа, которое уменьшает тепло. Формулировка теплового индекса основана на этих явлениях. Источником данных для индекса TI является инфракрасный канал 6 спектрального канала ТМ. Данные теплового индекса использовались только для обнаружения почв и недревесной тени. Цветные космоснимки, полученные из комбинации сырых данных каналов 4, 3, 2 и 4, 3 спутника Landsat TM, представляют значимую информацию о распределении типов лесного покрова (J. Southworth, 2004: 689-706). Действия по нормализации не проводятся для данных канала 6 из-за калибровки температуры. Данная калибровка температуры теплового инфракрасного канала в значениях температуры грунта была вы-

полнена с использованием формул 6 и 7.

$$L_\lambda = L_{\min} + ((L_{\max} - L_{\min}) / 255) * B_6 \quad (6)$$

$$T = K_2 / (\ln(K_1 / L_\lambda + 1)) \quad (7)$$

где L_λ – показатель спектрального излучения (Вт/(м²*ср * мкм));

T – температура грунта (°K);

B_6 – значения теплового инфракрасного канала 6.

K_1, K_2 – удельный термальный коэффициент для канала 6 из метаданных.

$$K_1 = 607,76$$

$$K_2 = 1260,56$$

$$L_{\min} = 1,238 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм)};$$

$$L_{\max} = 15,303 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм)}.$$

Для космоснимков за 2021 год (поколения Landsat 8 OLI и TIRS) были произведены аналогичные операции по обработке с учетом характеристик соответствующих каналов (URL3, 2021). Каналы Landsat 5 TM с 1-5 соответствуют каналам с 2-6 поколения Landsat 8 OLI, а вместо 6 теплового канала был использован 10 канал TIRS1 (K. Saylor, 2020: 3-15).

Процесс моделирования FCD. Схема процесса для картографической модели FCD иллюстрирована в рисунке 4.

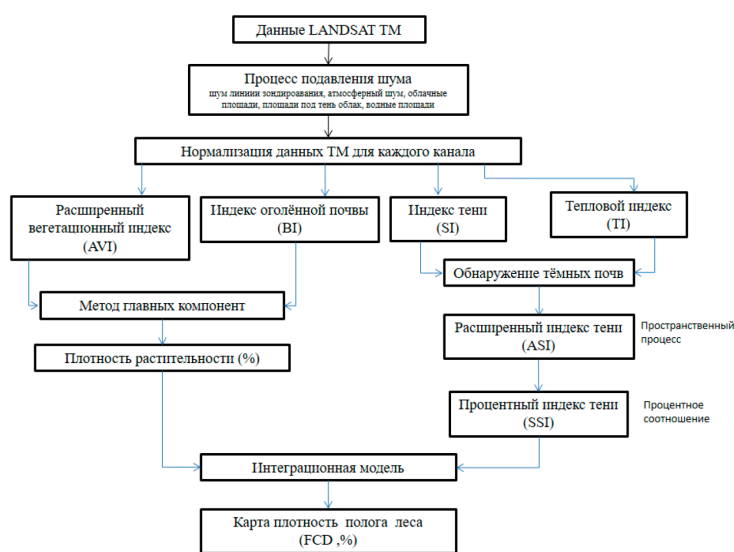


Рисунок 4 – Схема процесса картографического моделирования FCD

Индекс растительной плотности (VD). Данный процесс объединения индексов AVI и VI основывается на использовании метода главных компонент, так как, по своей сути, индексы AVI и VI имеют высокую отрицательную корреляцию. Далее все значения индекса VD устанавливаются в процентной шкале от 0 до 100 (J. Chudamani, D. L., 2006: 84-95).

Масштабированный индекс тени (SSI). Индекс тени является относительным показателем. Данные нормализованные значения могут быть использованы для вычисления других параметров. Индекс SSI был разработан в целях объединения значений индексов растительности и теней. Территории, где значения индекса SSI равны нулю, соответствуют лесным угодьям с минимальными значениями теней, т.е. 0%, а территории, где значения индекса SSI равны 100, соответствуют лесным угодьям с максимально возможными значениями теней, т.е. 100% (K. Jai, 2015: 1026-1032). Масштабированный индекс тени SSI получают посредством линейной трансформации индекса теней SI.

Интеграционная модель FCD. Объединение индекса растительной плотности (VD) и масштабированного индекса тени (SSI) подразумевает трансформацию их для значений плотности полога леса (S. Nandy, 2003: 291-297; Mothi Kumar K. E., 2020). Оба параметра измеряют плотность в процентном соотношении. Вычисление индекса FCD получается путем объединения по формуле 9. На рисунках 5 и 6 показаны результаты обработки плотности полога леса в 1993 и 2021 годов.

$$FCD = (VD * SSI + 1)^{1/2} - 1 \quad (9).$$

Для точного и корректного выявления структурной динамики в лесных угодьях Аманкарагай космоснимки были подобраны в одинаковом сезоне года, а именно в середине августа.

Результаты исследований

Степень плотности леса модели FCD выражается в процентах. Рисунок 7 наглядно демонстрирует изучаемый объект в модели FCD. Для более точной оценки обработки данных категории лесов были подразделены на 5 классов (таблица №2).

Таблица 2 - Значения классов FCD и их характеристики

Класс	Значения FCD, %	Характер местности	Сокращения
-	-	Гидрографические объекты	-
1	0-20	Нарушенные земли	НЗ
2	21-50	Земли без леса	БЛ
3	51-70	Разреженный лес	РЛ
4	71-100	Густой лес	ГЛ

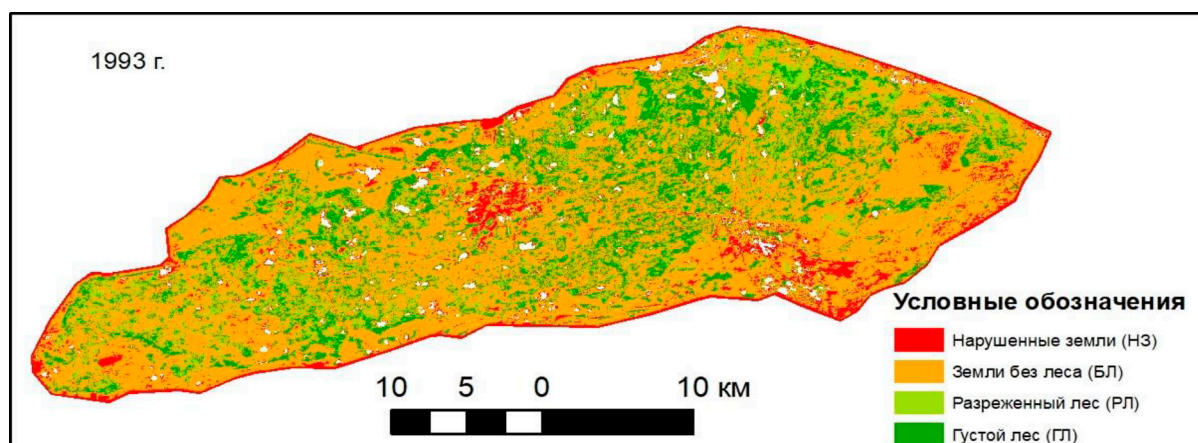


Рисунок 5 - Карта плотности лесного полога в 1993 году

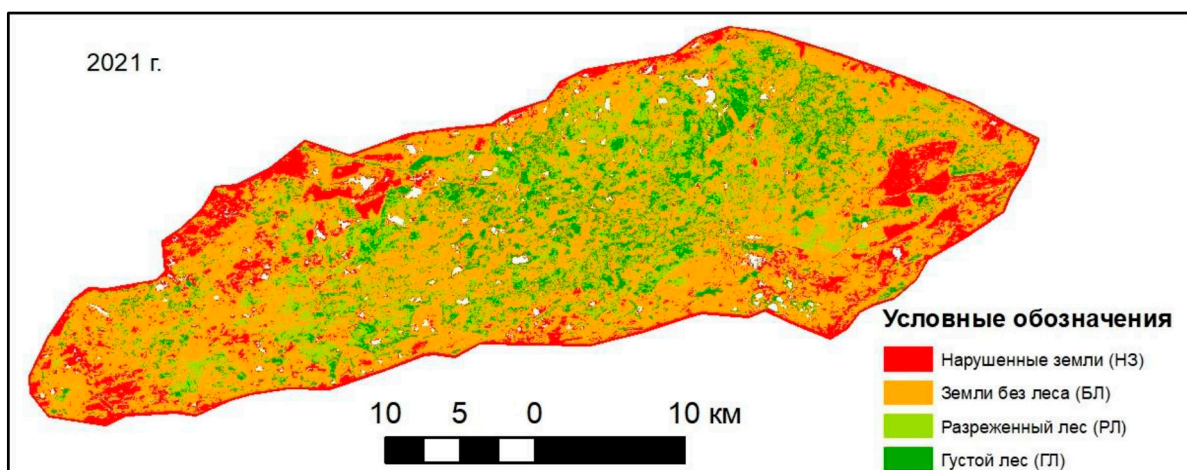


Рисунок 6 - Карта плотности лесного полога в 2021 году

Поскольку в каждом интервале FCD подразделены на 4 класса, мы получили 16 различных вариаций динамики. Из них 4 вариации не относятся к изменениям, касающимся лесных угодий, т.е. классы со значениями FCD до 50%. Например,

вариации «Нарушенные земли – Земли без леса» (НЗ-БЛ) либо «Земли без леса – Земли без леса» (БЛ-БЛ) и т.п. Итого мы имеем 12 разных вариаций, касающихся структурной динамики полога леса за наблюдаемое время (рисунок 7 и таблица 3).

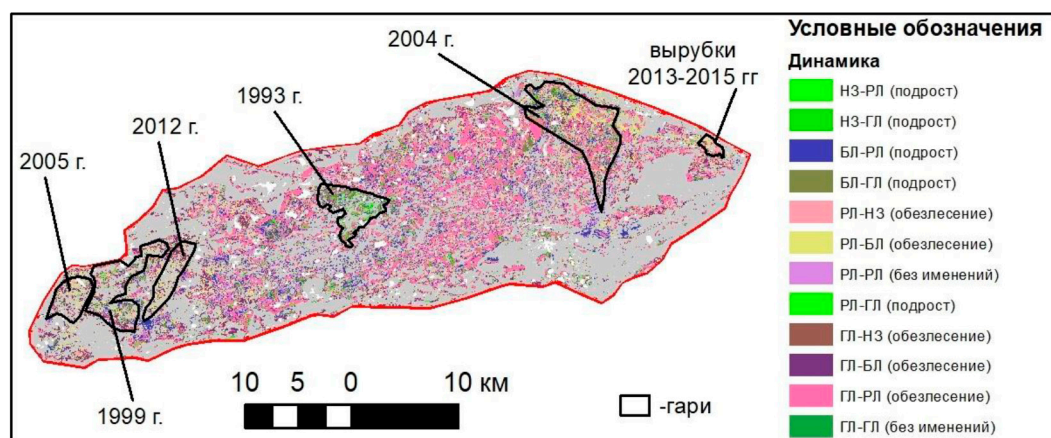


Рисунок 7 – Карта динамики плотности лесного полога в 1993-2021 годах

Таблица 3 – Вариации динамики классов FCD в периоде 1993-2021 гг.

№	Класс FCD 1993 г.	Класс FCD 2021 г.	Динамика	Площадь, га
1	2	3	4	5
1	НЗ	РЛ	НЗ-РЛ	141,09
2	НЗ	ГЛ	НЗ-ГЛ	100,31
3	БЛ	РЛ	БЛ-РЛ	5197,97
4	БЛ	ГЛ	БЛ-ГЛ	2585,4

1	2	3	4	5
5	РЛ	НЗ	РЛ-НЗ	283,76
6	РЛ	БЛ	РЛ-БЛ	6795,01
7	РЛ	РЛ	РЛ-РЛ	4117,43
8	РЛ	ГЛ	РЛ-ГЛ	2010,74
9	ГЛ	НЗ	ГЛ-НЗ	223,89
10	ГЛ	БЛ	ГЛ-БЛ	6246,31
11	ГЛ	РЛ	ГЛ-РЛ	13653,25
12	ГЛ	ГЛ	ГЛ-ГЛ	39124,67

Согласно результатам обработки данных ДЗЗ по картографической модели FCD по состоянию на 1993 год общая площадь лесопокрытой территории составила 33370,5 га, из них разреженного леса – 13235,55 га и густого леса – 20134,95 га. За 28 лет площадь лесопокрытой территории уменьшилась на 5506,5 га и составила 27864,0

га, в том числе: разреженного леса – 14576,65 га и густого леса – 13287,47 га.

Суммарная площадь лесов ландшафта, оставшаяся без изменений с 1993 г. по 2021 г., составила 43242,1 га (53,7%), территории, подвергшиеся облесению либо негативным процессам, – 27202,22 га (33,8%), а территории с естественным зарастанием сосны – 10035,51 га (12,5%).

Таблица 4 – Площадь гарей и вырубок за 1993-2021 гг.

№	Явление	Площадь, га
1	гарь 1993 г.	1819,07
2	гарь 1999 г.	2518,13
3	гарь 2004 г.	4307,96
4	гарь 2005 г.	1120,93
5	гарь 2012 г.	1181,41
6	вырубки 2013-2015 гг.	262,76
Всего		11210,55

На рисунке 7 показаны явления, которые значительно воздействовали на состояние лесопокрытого ландшафта Аманкарагай. Основным фактором в негативном аспекте являются, несомненно, гари и пожары (таблица 4). В некогда густой западной части леса, именуемой «Басаман», неоднократные гари, повторяющиеся с интервалом в 6 лет, довели ситуацию до критического уровня. Здесь лесные площади не восстановились до прежнего состояния. Гарь в срединной части 1993 года и мощнейший пожар 2004 года в северо-восточной части на данный момент покрылись разреженным лесом и ландшафт восстанавливается стабильно. Большинство следов гарей и пожаров имеют конусовидную форму, вытянутую с юга на север, что соответствует розе ветров данной местности.

Выводы

Данные дистанционного зондирования Земли дали возможность:

- выявить изменения в структуре лесного массива исследуемой территории;
- представить масштабы и направление их динамики;
- по суммарным подсчётам Индексов показать сокращение площади густого леса и редкий прирост молодой сосны. Однако, даже при условии, что лес подвергался гарям, пожарам и рубкам, фактическая площадь составила 11210,55 га;
- выявить по данным модели FCD общую площадь лесопокрытых земель, которая в период с 1993 по 2015 год сократилась на 5506,5 га;

– прийти к общему выводу о том, что лесной ландшафт Аманкарагай в естественном состоянии является устойчивой геосистемой и способен к восстановлению.

Литература

Берденов Ж.Г., Жамангара А.К., Мендыбаева Е.Х., Жангужина А.А. (2020) Геоэкологический мониторинг: Учебное пособие. – Астана, – С. 113-115.

Берденов Ж.Г., Мендыбаев Е.Х., Маханова Н., Бекетова А.Т., Камкин В.А. Современные методы обработки и анализа ДЗЗ (на примере Аккулинского района Павлодарской области) // *Новости науки Казахстана*. – Алматы, 2020. -№ 1 (143). – С. 12-24.

Бекетова А.Т., Маханова Н.Б., Абильдинов К.К., Есенова Ж.К., Берденов Ж.Г., Александрю И. Анализ данных дистанционного зондирования Земли при изучении и картографировании природной среды // *Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева*. – Нур-Султан, 2020. – № 2 (131) – С. 68-77.

Карпачев А.П. Опыт классификация космоснимка Landsat с помощью Semi-Automatic Classification Plugin в QGIS (Электронный ресурс) // -2016, режим доступа GIS-Lab: Опыт классификации космоснимка Landsat с помощью Semi-Automatic Classification Plugin в QGIS

Rikimaru, “The Concept of FCD Mapping Model and Semi-Expert System. FCD Mapper User’s Guide.” International Tropical Timber Organization and Japan Overseas Forestry Consultants Association. Pp 90, 1999 а.

Rikimaru, S. Miyatake “Development of Forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model using Indices of Vegetation, Bare soil and Shadow”, 1997 б.

P. S. Roy, Rikimaru and S. Miyatake, “Tropical forest cover density mapping,” *International Society for Tropical Ecology*, 2002 43 (1), pp.39-47

P.S. Roy, Sanjay Tomar, Girish Pujar, Sameer Saran, A.R. Maslekar, Retno Sari Rhuandha A. Vilgilio F. Basa Alma SM Arquero Surachai R. Supapis Polngam and A. Rikimaru. «Application Tests to Conduct Forest Canopy Density Mapping ». International Tropical Timber Organization Project Report on PD 32/93 Rev.2 (F) Rehabilitation of Logged-Over Forests in Asia/Pacific Region, Sub-Project III attachment 2 pp 2-20, January 1997

M. Saei jamalabad, A.A. Abkar 2000 «Forest Canopy Density Monitoring, Using Satellite Images» ISPRS Commission VII, 17, Amsterdam, Holland.

Қостанай облысының орман шаруашылығын жүргізу және ұйымдастыру жөнінде негізгі қағидалар, «Қазақ орман орналастыру кәсіпорны» РМҚК. – Алматы, 2018. – 284 б.

https://www.researchgate.net/publication/237515696_FOREST_CANOPY_DENSITY_MONITORING_USING_SATELLITE_IMAGES_2001_pp_1-7

URL1: 2022 <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/28952.htm>

Kremenetski, C., Tarasov, P. & Cherkinsky, A. (1997). Postglacial Development of Kazakhstan Pine Forests. *Géographie physique et Quaternaire*, 51(3), 391–404. <https://doi.org/10.7202/033138ar>

URL2: 2021 <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Pandian, M, Nandhini. R «Forest Canopy Density and ASTER DEM based Study for Dense Forest Investigation using Remote Sensing and GIS Techniques» *International Journal of Research in Environmental Science and Technology* 2016; 6(1): 1-4

Z. Azizia, A. Najafi, and H. Sohrabia, “Forest canopy density estimating using satellite images,” *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, vol. 8, pp. 1127–1130, 2008.

W. Cui zhen and Q. Jiaguo, “Assessment of tropical forest degradation with canopy fractional cover from landsat ETM+ and IKONOS imagery,” *Earth Interactions*, vol. 9, no. 22, pp.1-17, 2005

S. Li, X. Chen «A New Bare-Soil Index For Rapid Mapping Developing Areas Using Landsat 8 Data», *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-4, ISPRS Technical Commission IV Symposium, 14 – 16 May 2014, Suzhou, China pp 139-144.

J. Southworth, «An assessment of Landsat TM band 6 thermal data for analyzing land cover in tropical dry forest regions» *International Journal of Remote Sensing* 20 February, 2004, Vol. 25, №. 4, 689–706.

URL3: 2021 <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>

K. Saylor, K. Zanter «Landsat 8 Collection 1 (C1) Land Surface Reflectance Code (LaSRC) Product Guide» August 2020 U.S. Geological Survey EROS Sioux Falls, South Dakota LSDS-1368 Version 3.0 pp 3-15.

J. Chudamani, D. L. Jan, K. S. Andrew, C. D. Iris, and O. Henk, “Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods,” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 8, №. 2, pp. 84-95, 2006.

K. Jai, T. Paras, and A. P. Krishna, “Forest canopy density and ASTER DEM based study for dense forest investigation using remote sensing and GIS techniques around east singhbhum in jharkhand, india,” *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, pp. 1026-1032, 2015

S. Nandy, P. K. Joshi, and K. K. Das, “Forest canopy density stratification using biophysical modeling,” *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, pp. 291-297, 2003.

Mothi Kumar K. E., Ritesh Kumar, Vikas Sihag, Promila Bishnoi, Seema Rani, Ravikant Bishnoi, Sarika, Poonam, Venketeshwar Pandey, Ritu Sharma, Meenakshi, V.S. Arya, T.P. Singh, Vinod Kumar, Conference: 41st Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2020), November 2020, Deqing, China.

References

- Berdenov. Zh.G., Zhamangara A.K., Mendy'baeva E.Kh., Zhanguzhina A.A. (2020) – Geoe'kologicheskij monitoring: Uchebnoe posobie [Geoecological monitoring: training manual]. – Astana, – S. 113-115.
- Berdenov Zh.G., Mendy'baev E.Kh., Makhanova N., Beketova A.T., Kamkin V.A. Sovremenny'e metody obrabotki i analiza DZZ (na primere Akkulinskogo rajona Pavlodarskoj oblasti) [Modern methods of remote sensing processing and analysis (on the example of the Akushinsky district of Pavlodar region)] //Novosti nauki Kazakhstana. Almaty', 2020. -# 1 (143) – S.12-24.
- Beketova A.T., Makhanova N.B., Abil'dinov K.K., Esenova Zh.K., Berdenov Zh.G., Aleksandru I. Analiz danny'kh distanczi-onnogo zondirovaniya Zemli pri izuchenii i kartografirovanii prirodnoj sredy' [Analysis of Earth remote sensing data in the study and mapping of the natural environment]. // Vestnik ENU imeni L.N. Gumileva. Nur-Sultan, 2020.-# 2 (131) – S.68-77.
- Karpachev A.P. Opy't klassifikacziya kosmosnimka Landsat s pomoshh'yu Semi-Automatic Classification Plugin v QGIS (E'lektronny'j resurs) [Experience classification of the Landsat satellite image using the Semi-Automatic Classification Plugin in QGIS (Electronic resource)]. / -2016, rezhim dostupa GIS-Lab: Opy't klassifikaczii kosmosnimka Landsat s pomoshh'yu Semi-Automatic Classification Plugin v QGIS
- Rikimaru, "The Concept of FCD Mapping Model and Semi-Expert System. FCD Mapper User's Guide." International Tropical Timber Organization and Japan Overseas Forestry Consultants Association. Pp 90, 1999 a.
- Rikimaru, S. Miyatake "Development of Forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model using Indices of Vegetation, Bare soil and Shadow", 1997 b.
- P. S. Roy, Rikimaru and S. Miyatake, "Tropical forest cover density mapping," International Society for Tropical Ecology, 2002 43 (1), pp.39-47
- P.S. Roy, Sanjay Tomar, Girish Pujar, Sameer Saran, A.R. Maslekar, Retno Sari Rhuandha A. Vilgilio F. Basa Alma SM Arquero Surachai R. Supapis Polngam and A. Rikimaru. «Application Tests to Conduct Forest Canopy Density Mapping ». International Tropical Timber Organization Project Report on PD 32/93 Rev.2 (F) Rehabilitation of Logged-Over Forests in Asia/Pacific Region, Sub-Project III attachment 2 pp 2-20, january1997
- M. Saei jamalabad, A.A. Abkar 2000 «Forest Canopy Density Monitoring, Using Satellite Images» ISPRS Commission VII, 17, Amsterdam, Holland.
- Koŝtanaj obly'sy'ny'n orman sharuashy'ly'ry'n zhyrgi'zu zhõne yjy'mdasty'ru zhõni'nde negi'zgi' karidalar, [Basic Rules for conducting and organizing forestry in Kostanay region]. RМKK «Kazak orman ornalasty'ru kasi'porny'» - Almaty', 2018, 284 b.
https://www.researchgate.net/publication/237515696_FOREST_CANOPY_DENSITY_MONITORING_USING_SATELLITE_IMAGES 2001 pp 1-7
 URL1: 2022 <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/28952.htm>
- Kremenetski, C., Tarasov, P. & Cherkinsky, A. (1997). Postglacial Development of Kazakhstan Pine Forests. Géographie physique et Quaternaire, 51(3), 391–404. <https://doi.org/10.7202/033138ar>
 URL2: 2021 <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Pandian. M, Nandhini. R «Forest Canopy Density and ASTER DEM based Study for Dense Forest Investigation using Remote Sensing and GIS Techniques» International Journal of Research in Environmental Science and Technology 2016; 6(1): 1-4
- Z. Azizia, A. Najafi, and H. Sohrabia, "Forest canopy density estimating using satellite images," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, vol. 8, pp. 1127–1130, 2008.
- W. CuiZhen and Q. Jiaguo, "Assessment of tropical forest degradation with canopy fractional cover from landsat ETM+ and IKONOS imagery," Earth Interactions, vol. 9, no. 22, pp.1-17, 2005
- S. Li, X. Chen «A New Bare-Soil Index For Rapid Mapping Developing Areas Using Landsat 8 Data», The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-4, ISPRS Technical Commission IV Symposium, 14 – 16 May 2014, Suzhou, China pp 139-144.
- J. Southworth, «An assessment of Landsat TM band 6 thermal data for analyzing land cover in tropical dry forest regions» International Journal of Remote Sensing 20 February, 2004, Vol. 25, #. 4, 689–706.
 URL3: 2021 <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>
- K. Sayler, K. Zanter «Landsat 8 Collection 1 (C1) Land Surface Reflectance Code (LaSRC) Product Guide» August 2020 U.S. Geological Survey EROS Sioux Falls, South Dakota LSDS-1368 Version 3.0 pp 3-15.
- J. Chudamani, D. L. Jan, K. S. Andrew, C. D. Iris, and O. Henk, "Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 8, #. 2, pp. 84-95, 2006.
- K. Jai, T. Paras, and A. P. Krishna, "Forest canopy density and ASTER DEM based study for dense forest investigation using remote sensing and GIS techniques around east singhbhum in jharkhand, india," International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, pp. 1026-1032, 2015
- S. Nandy, P. K. Joshi, and K. K. Das, "Forest canopy density stratification using biophysical modeling," Journal of the Indian Society of Remote Sensing, pp. 291-297, 2003.
- Mothi Kumar K. E., Ritesh Kumar, Vikas Sihag, Promila Bishnoi, Seema Rani, Ravikant Bishnoi, Sarika, Poonam, Venketeshwar Pandey, Ritu Sharma, Meenakshi, V.S. Arya, T.P. Singh, Vinod Kumar, Assessment of green cover in faridabad district (India): a geospatial approach. Conference: 41st Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2020), November 2020, Deqing, China.