

УДК 630.1:528.8 (470.331)
DOI: 10.26456/vtbio215

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ЛЕСОВ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В СТАРИЦКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Ф. Мейсурова, Н.Ю. Сметанина
Тверской государственной университет, Тверь

Проведена оценка влияния антропогенных и природных факторов на состояние лесов Старицкого лесничества Тверской области на основе серий спутниковых изображений Sentinel-2 за период с 2019 по 2021 гг. Используются распространенные варианты комбинаций каналов для интерпретации основных видов лесоизменений: рубки – комбинация 4,3,2 «естественные цвета»; подтопление – комбинация 5,6,2 – «здоровая растительность» с преобладанием фиолетовых оттенков; ветровалы и буреломы – комбинация 5,4,3 – «искусственные цвета» с преобладанием красного цвета. Выяснено, что общая площадь лесоизменений в лесничестве составила 2246,9 га. Наибольшее воздействие на состояние лесов изученной территории оказывает вырубка лесных насаждений с целью заготовки древесины. Общая площадь вырубленных лесов составила 92% от общей площади всех лесоизменений.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, антропогенные факторы, мониторинг, спутниковые снимки, ГИС, Старицкое лесничество, Тверская область.

Введение. Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) является интенсивно развивающейся областью исследований. Метод ДЗЗ дает широкие возможности для исследования разных процессов, в том числе для решения многих проблем в лесном хозяйстве (Королева и др., 2018; Сметанина, Мейсурова, 2021). Спектр разработанных методик использования ДЗЗ и их возможного применения для оценки состояния растительного покрова (степень нарушенности лесной экосистемы, полнота древостоя, преобладающий породный состав, очаги лесных пожаров, вырубки разного возраста и т.д.) очень широк (Маркс, 2011; Шумаков и др., 2012; Евдокимов. Махалат, 2015; Зуев и др., 2018; Лебедев, 2020). Потребность в использовании таких данных с каждым годом возрастает, особенно при оценке состояния лесистых регионов России, например, Тверской области.

Тверская область входит в двадцатку самых лесных регионов России, а среди субъектов Центрального федерального округа (ЦФО) занимает первое место по площади лесов и второе место по возможному объему заготовки древесины. Лесистость территории составляет 55 % (Характеристика лесов ..., 2017). Высокий процент лесистости в регионе обусловлен хорошо развитой гидрологической сетью, которая насчитывает более 800 рек общей протяженностью около 17 тысяч километров (Лесохозяйственный регламент ..., 2018). Однако лесистость области в отдельных ее частях не одинакова, что связано с различными природными условиями и хозяйственной деятельностью человека (Характеристика лесов ..., 2017). Сильно обезлесенные районы преимущественно занимают юго-западную часть Тверской области, где покрыто лесами только 10% площади. Самой обезлесенной частью области является Ржевско-Старицкое Поволжье. Его лесные насаждения и природные комплексы испытывают значительное влияние антропогенных (вырубки) и природных факторов (нарушение гидрологического режима, ветровалы (буреломы) и т.д.) (Зиновьев и др., 2007; Мейсурова и др., 2020). В этой связи, актуальны исследования, обеспечивающие регулярный мониторинг состояния и динамики лесов этой территории на основе данных ДЗЗ.

Цель работы – оценка влияния антропогенных и природных факторов на состояние лесов Старицкого лесничества Тверской области с помощью данных ДЗЗ. Задачи: 1) дать краткую характеристику исследуемой территории; 2) создать снимки Sentinel-2 с разными комбинациями спектральных каналов и провести их тематическое дешифрирование; 3) оценить интенсивность негативного воздействия различных факторов на состояние лесов.

Методика. Объект исследования – леса Старицкого лесничества, которое расположено в южной части Тверской области на территории лесного фонда четырех муниципальных районов: Старицкого, Зубцовского, Ржевского и Оленинского (рис. 1). Старицкое лесничество расположено в зоне хвойно-широколиственных лесов. В его состав включены 18 участковых лесничеств. Общая площадь всего лесничества составляет 550 022,5 га (Лесохозяйственный регламент ..., 2018). По целевому назначению и категориям защитных лесов в лесничестве выделяют защитные (348 384 га), ценные (289 337,5 га) и эксплуатационные леса (200 862 га) (Схема распределения ..., 2018).

Общая методика исследований состояния лесов в Старицком лесничестве включила несколько этапов: подготовительный, связанный с подбором дополнительного материала; технологический –

непосредственно спектральная обработка данных ДЗЗ и дешифрование снимков (Скрипчинский, 2010; Малышева, 2018).

На подготовительном этапе выбрали слой с квартальной сетью Старицкого лесничества и создали слой с его контуром для загрузки на сайт USGS, необходимой для детального отбора космических снимков. Источником изображений служили данные со спутников с 2019 г. по 2021 г., полученные из открытых источников (Геологическая служба США). Для работы отобрали 19 снимков территории Старицкого лесничества: для архивной съемки – 6 снимков КА Sentinel-2 в период с 16.04.2019 по 31.08.2019; для текущей съемки – 13 снимков КА Sentinel-2 в период с 11.05.2021 по 09.07.2021, Обозначенное число съемок обусловлено необходимостью получения безоблачного покрытия.

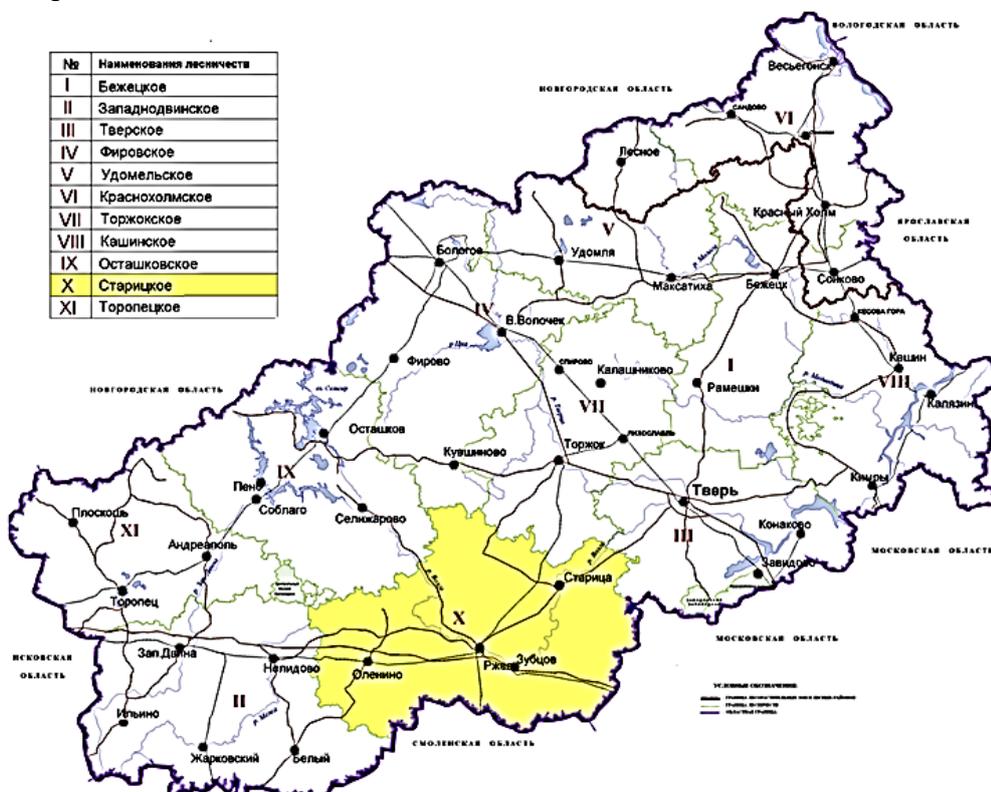


Рис. 1. Схема расположения территории Старицкого лесничества Тверской области (по: Лесохозяйственный регламент ..., 2018)

На технологическом этапе с помощью специализированного программного обеспечения ScanEx IMAGE Processor v.5.1. провели геометрическую коррекцию и тематическую обработку космических снимков. Геометрическая обработка включала радиометрическую коррекцию влияния атмосферы и восстановления пропущенных

пикселей; тематическая обработка – выстраивание различных комбинаций спектральных каналов. Спектральная обработка включала создание мультитременного композита путем наложения архивного снимка на текущую съемку.

Для идентификации антропогенного воздействия (рубок) использовали комбинацию спектральных каналов 2, 3, 4 (Sentinel-2) (Blue, Green, Red) – видимые цвета спектра («естественные цвета») (Евдокимов, Махалат, 2015). При получении мультиспектрального синтеза выбран 2 канал (Red) текущего снимка, 3 (Green) и 4 (Red) канала архивных снимков (рис. 2). Снимки архивного и текущего периода были скомпонованы в один растр, путем их сшивания в одну мозаику (рис. 3).

Для идентификации иных факторов природного характера, влияющих на состояние лесов использовали следующие каналы: подтопление – комбинация спектральных каналов 5, 6, 2 (Sentinel-2) (Visible and Near Infrared, Visible and Near Infrared, Blue) – «здоровая растительность» с преобладанием фиолетовых оттенков (Healthy Vegetation); сухостой и ветровал – комбинация каналов 5, 4, 3 (Sentinel-2) (Visible and Near Infrared, Red, Green) – «искусственные цвета» с преобладанием красного цвета (False Colors).

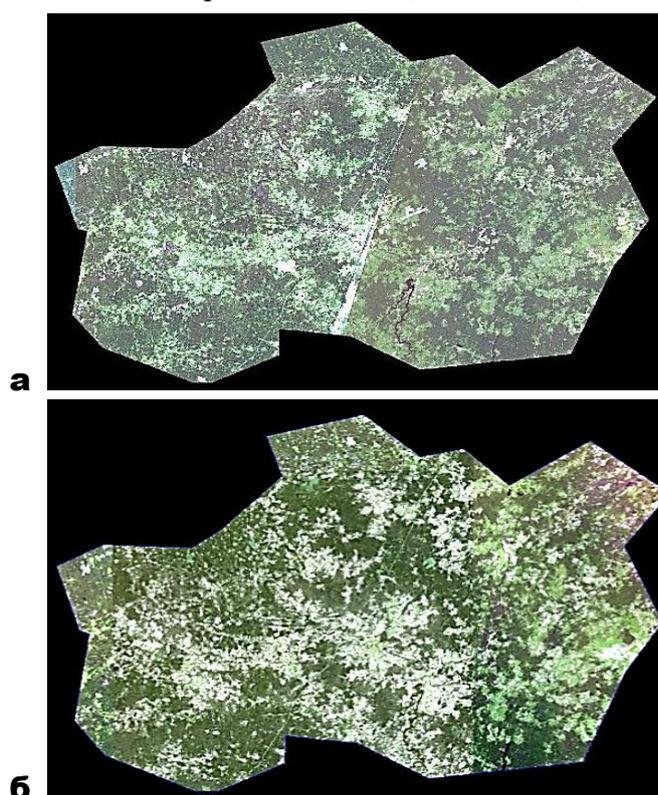


Рис. 2. Мозаика архивных (а) и текущих (б) снимков Старицкого лесничества



Рис. 3. Мозаика мультивременных композитов

Дешифрование снимков проведено в ПО MapInfo. Атрибутивной информацией, предназначенной для дешифрования, служили следующие параметры – номер отрисованного участка, площадь участка, вид фактора. Общее число отрисованных участков по вырубкам составило 470 (322 делянок, которые были вырублены на арендованной территории и 148 делянок, вырубленных по договорам купли-продажи; с погибшими и сухостойными насаждениями – 35; с нарушением гидрографии – 7. Площади всех лесоизменений рассчитали в период с 2019 по 2021 гг.

Результаты и обсуждение. Анализ полученных космических снимков показал следующие результаты. Дешифрование космического снимка территории лесничества с комбинацией спектральных каналов «естественные цвета» (каналы 2, 3, 4) позволило идентифицировать вырубки леса. Здоровая растительность на снимке имеет зеленый цвет, нездоровая растительность – коричневый или желтый оттенок. Лесоизменения, в результате которых земли лесного фонда изменили статус с покрытых лесом земель на категорию вырубки, отображены на снимке белыми оттенками (рис. 4). Участки имеют геометрические формы (чаще прямоугольную) и прямые углы, что указывает на сплошные рубки. На снимке участки с лесозаготовкой, зарастающие свежие вырубки и сохранившиеся участки лесной растительности располагаются преимущественно в шахматном порядке. Такое расположение важно при сохранении почвенного покрова и

обеспечения лучшего лесовосстановления (Тематическое дешифрование ..., 2020).



Рис. 4. Сплошные рубки на снимке Sentinel-2 в синтезе «естественные цвета» в масштабе 1 : 50 000

Наибольшее число участков с рубками сосредоточено на территории Оленинского муниципального района в Молодотудском участковом лесничестве. Общая площадь вырубок на территории Старицкого лесничества за изучаемый период составила 2060,3 га (табл. 1). Известно, что заготовка древесины в лесничестве проводится двумя способами: на основе договора аренды лесного участка и лесных деклараций; на основе договора купли-продажи (преимущественно между местным населением для индивидуальных нужд). Сравнение площадей делянок с лесоизменениями показало, что интенсивность лесозаготовки на основе договора аренды лесного участка и лесных деклараций выше в три раза, чем на основе договора купли-продажи.

На снимках Sentinel-2 с комбинацией спектральных каналов Healthy Vegetation (каналы 5, 6, 2) удалось идентифицировать участки с нарушенным гидрологическим режимом в Старицком лесничестве. Растительность (ее состояние, возраст) на снимке темно-зеленого цвета, вырубленные делянки – фиолетово-розовые; зарастающие растительностью вырубки – светло-зеленые; водные объекты – синие и темно-синие (рис. 5). Чем больше глубина водного объекта, тем более темную окраску он имеет на снимке. В сумме с комбинацией каналов «естественные цвета» различимы затопляемые территории и состояние растительности на них.

На снимках Santinel-2 возле подтопляемых участков имеется незначительное количество растительного покрова, поэтому снимки имеют сглаженную структуру в отличие от участков со здоровой лесной растительностью. Рядом с подтопляемыми участками находятся объекты гидрографии – река, болото, водохранилище. Следует отметить, что на подтопляемых территориях, древесная растительность имеет заметно меньшую высоту, которая, изменяется от центра подтопляемой территории к ее периферии. Общая площадь подтопляемых участков с нарушением гидрологического режима составила 7,7 га (табл. 1).

Таблица 1

Результаты дешифрирования данных ДЗЗ
на территории Старицкого лесничества Тверской области

Фактор	Число участков, шт.	Площадь, га	Наименование участкового лесничества
Вырубки	470	2060,3	Молодотудское
Нарушение гидрологического режима	7	7,7	Старицкое
Ветровалы (буреломы)	35	178,9	Зубцовское
Всего	512	2246,9	

Дешифрирование космического снимка Santinel-2 территории лесничества с комбинацией спектральных каналов False Colors (каналы 5,4,3) позволило выявить ветровалы (буреломы) (рис. 6). На снимке растительность имеет оттенки фиолетового цвета, открытые участки земли отображены ярко салатным цветом. Известно, что насыщенные оттенки красного и розового цветов – своеобразные индикаторы благополучия растительных сообществ.

Несмотря на сходство спектральных характеристик по цветовой гамме между ветровалами (буреломами) и вырубками имеется различие в характере формы таких участков. В отличие от вырубок, участки с ветровалами (буреломами), вызванными сильным ветром, имеют не стандартную конфигурацию, главным признаком которых является полное отсутствие прямых углов. На снимке Santinel-2, участки с ветровалами (буреломами) вытянутой продолговатой формы повторяют направление порывистого ветра на значительной части площади. Такие участки, чаще всего, наблюдаются в перестойных темнохвойных лесах. Общая площадь участков, поврежденных ветровалами и буреломами, составила 178,9 га.



Рис. 5. Снимки Santinel-2 с комбинацией каналов Healthy Vegetation в масштабе 1:20000

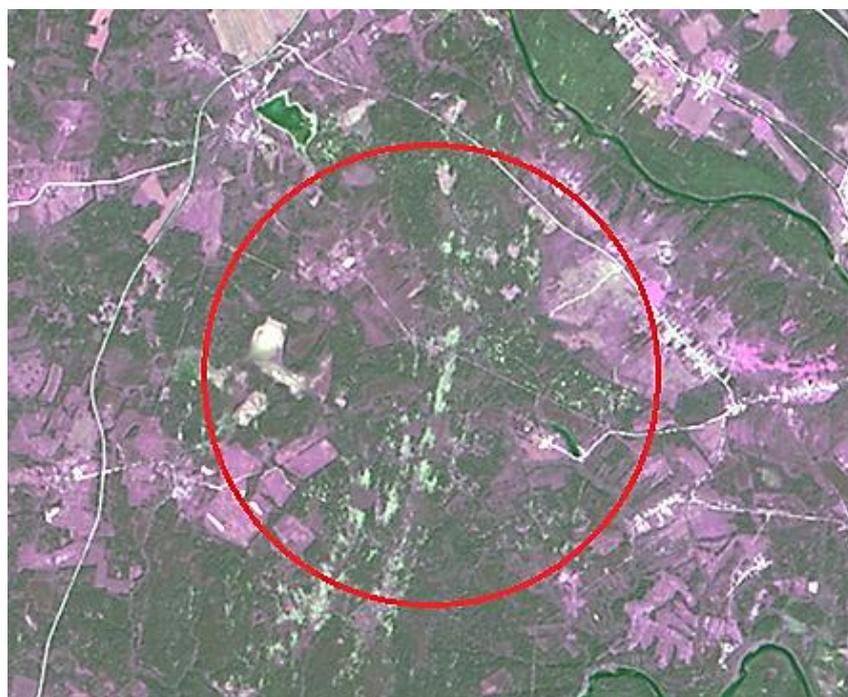


Рис. 6. Снимки Santinel-2 с комбинацией каналов False Colors в масштабе 1:50000

Таким образом, для изучения влияния антропогенных и природных факторов на состояние лесов с помощью ДЗЗ создали снимки Santinel-2 территории Старицкого лесничества с разными сочетаниями каналов: 1) комбинация 4, 3, 2 «естественные цвета»; 2) комбинация 5, 6, 2 – «здоровая растительность» с преобладанием желтого цвета; 3) комбинация 5, 4, 3 – «искусственные цвета» с преобладанием красного цвета. Дешифрование снимков с разным сочетанием спектральных каналов позволили идентифицировать виды основных лесоизменений: рубки (сплошные, выборочные, зарастающие делянки, лесосеки на стадии освоения), подтопление, ветровалы и буреломы. Установлены площади всех видов лесоизменений в Старицком лесничестве Тверской области. Общая площадь лесоизменений в период с 2019 по 2021 гг. на территории лесничества составила 2246,9 га. Выяснено, что наибольшее воздействие на состояние лесов изученной территории оказывают антропогенные факторы – вырубка лесных насаждений с целью заготовки древесины. Общая площадь вырубленных лесов составила 2060,9 га (92% от общей площади лесоизменений). Другие факторы в меньшей степени вызывают лесоизменения.

Заключение. С помощью данных ДЗЗ были созданы снимки с разными комбинациями спектральных каналов для территории Старицкого лесничества Тверской области. Дешифрование полученных снимков изученной территории позволило определить их возможности при оценке разных видов изменений целостности лесных массивов. Установлено, что состояние лесов изученной территории удовлетворительное.

Авторы статьи выражают глубокую благодарность за консультации и ценные замечания сотрудникам Тверского филиала ФБУ «Рослесозащита» – «Центр защиты леса Тверской области».

Список литературы

- Евдокимов С.И., Михалап С.Г. 2015. Определение физического смысла комбинации каналов снимков LANDSAT для мониторинга и состояния наземных и водных экосистем // Серия Естественные и физико-математические науки. № 5. С. 21-32.
- Зиновьев А.В. Нотов А.А., Сорокин А.С., Тюсов А.В. 2007. О проекте создания национального парка «Ордино» // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. Вып. 6. № 22. С. 219-229.
- Зуев Д.В., Кашкин В.Б., Симонов К.В. 2018. Использование спутниковых методов мониторинга для оценки экологического состояния северных территорий Краснодарского края // Успехи современного естествознания. № 2. С. 86-92.
- Королева Н.В., Тихонова Е.В., Ершов Д.В., Салтыков А.Н., Гаврилюк Е.А., Пугачевский А.В. 2018. Оценка масштабов зарастания нелесных земель в

- национальном парке «Смоленское Поозерье» за 25 лет по спутниковым данным Landsat // Лесоведение. № 2. С. 83-96.
- Лебедев А.В.* 2020. Изучение изменения растительного покрова заповедника «Кологривский лес» по материалам дистанционного зондирования Земли // Дистанционные методы в лесном хозяйстве. № 2. С. 43-53.
- Лесохозяйственный регламент Старицкого лесничества Тверской области с 2019 по 2028 годы // Министерство лесного хозяйства Тверской области: [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://les.tver.ru/np-baza/np-dokumenty/lesnoy-plan-i-reglamenty/> (дата обращения 21.08.2021).
- Мальшева Н.В.* 2018. Основы автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков лесов с использованием ГИС: учебное пособие. М.: МЭСХ. 136 с.
- Маркс А.* 2011. Мониторинг лесов с помощью группировки спутников RapidEye* // Геоматика. № 3. С. 58-66.
- Мейсунова А.Ф., Кратович П.В., Спирина У.Н., Зуева Л.В., Нотов А.А., Курочкин С.А., Петухова Л.В., Иванова С.А., Андреева Е.А., Степанова Е.Н., Нотов В.А.* 2020. Лесные экосистемы Тверской области: рациональное использование, охрана и мониторинг: База данных. Свидетельство о государственной регистрации базы данных в Федеральной службе по интеллектуальной собственности № 2020621373. Заявка № 2020621256. Дата поступления 03.08.2020 г. Дата гос. регистрации в Реестре баз данных 06.08.2020 г.
- Скрипчинский А.В.* 2010. Динамика лесов окрестностей г. Ставрополя по материалам космической съемки // Вестник Ставропольского гос. ун-та. № 69. С. 159-163.
- Сметанина Н.Ю., Мейсунова А.Ф.* 2021. Применение данных дистанционного зондирования при оценке состояния лесов ГКУ «Краснохолмское лесничество» Тверской области // Материалы XIX науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, апрель 2021 года. Тверь: ТвГУ. С. 18-21.
- Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения 2020: учебное пособие [электронный ресурс] / А.Н. Шихов, А.П. Герасимов, А.И. Пономарчук, Е.С. Перминова; Пермский государственный национальный исследовательский университет. Электронные данные. Пермь. 191 с.
- Характеристика лесов Тверской области (сведения из Государственного лесного реестра). 2017: [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xn--e1afjcg0a.xn--80aaccp4ajwpkgl4lpb.xn--p1ai/deyatelnost-iogv/lesresurs/?special=y> (дата обращения 21.08.2021).
- Шумаков Ф.Т., Толстохатко В.А., Тарнопилская Н.П.* 2012. Возможности использования космических снимков для решения задач мониторинга лесов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. № 2/11(56). С. 25-29.

**THE ESTIMATION OF THE IMPACT
OF ANTHROPOGENIC AND NATURAL FACTORS
ON STATE OF THE FORESTS USING REMOTE SENSING DATA
IN STARITSKY FORESTRY OF TVER REGION**

A.F. Meysurova, N.Y. Smetanina

Tver State University, Tver

An assessment of the influence of anthropogenic and natural factors on the state of the forests of the Staritsa Forestry of the Tver Region was carried out in a series of Santinel-2 satellite images for the period from 2019 to 2021. Common variants of canal combinations were used to interpret the main types of forest changes: felling - a combination of 4,3,2 "natural colors"; flooding – a combination of 5,6,2 - "healthy vegetation" with a predominance of purple tints; windblows and windbreaks - a combination of 5,4,3 - "artificial colors" with a predominance of red. The total area of forest changes in the forestry was 2246.9 hectares. The greatest impact on the state of forests in the studied area are done by the timber-harvesting activities. The total area of deforestation was 92% of the total area of all forest changes.

Keywords: *remote sensing of the Earth, anthropogenic factors, monitoring, satellite imagery, GIS, Staritsky Forestry, Tver Region.*

Об авторах:

МЕЙСУРОВА Александра Федоровна – доктор биологических наук, декан биологического факультета, заведующая кафедрой ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: alexandrauraz@mail.ru.

СМЕТАНИНА Наталья Юрьевна – магистрант направления 06.04.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33; e-mail: botany@tversu.ru.

Мейсурова А.Ф. Оценка влияния антропогенных и природных факторов на состояние лесов с помощью данных дистанционного зондирования в Старицком лесничестве Тверской области / А.Ф. Мейсурова, Н.Ю. Сметанина // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2021. № 3(63). С. 127-137.