

УДК 630.1:528.8 (470.331)  
DOI: 10.26456/vtbio246

## **ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ В ЛЕСНИЧЕСТВАХ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**А.Ф. Мейсунова, Н.Ю. Сметанина**  
Тверской государственной университет, Тверь

Проведен дистанционный мониторинг лесоизменений, вызванных антропогенными и природными факторами в лесничествах Тверской области в 2019–2021 гг. С помощью серии спутниковых изображений Sentinel-2 с разными комбинациями спектральных каналов, идентифицированы рубки, подтопления, ветровалы (буреломы) в Осташковском и Торопецком лесничествах. Выяснено, что за последние три года площадь всех лесоизменений составила 7 748, 1 га. Основной вид антропогенного воздействия – вырубка лесов для заготовки древесины. В обоих лесничествах рубки не в полной мере соответствуют принципу рациональной лесозаготовки. Интенсивность лесозаготовок в Торопецком лесничестве выше, чем в Осташковском. Нарушение правил чересполосных рубок в Осташковском лесничестве усиливает действие ветров, вызывая ветровалы старовозрастных лесов, где сосредоточены редкие и исчезающие виды.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, антропогенные факторы, мониторинг, спутниковые снимки, ГИС, Торопецкое лесничество, Осташковское лесничество, Тверская область, биоразнообразие, рубки, ветровалы, буреломы.

**Введение.** Среди субъектов Центрального федерального округа (ЦФО) самым крупным регионом является Тверская область (84,2 тыс. км<sup>2</sup>). Она занимает первое место по площади лесов. Ее лесистость составляет 55%, что обусловлено хорошо развитой гидрологической сетью (Характеристика лесов ..., 2017; Лесохозяйственный регламент ..., 2018; Мейсунова и др., 2020; Мейсунова, Сметанина, 2021). Наиболее лесистыми в Тверской области являются Андреапольский Осташковский, Пеновский, Селижаровский, Торопецкий районы. В них расположены наиболее крупные лесничества – Осташковское и Торопецкое (Лесохозяйственный..., 2016а, б). На их территории выявлены уникальные природные комплексы и редкие охраняемые объекты, сохранились массивы хвойных лесов с участием широколиственных пород, имеются крупные участки старовозрастных сообществ, которые обеспечивают возможность существования связанных с ними специализированных видов. Все это обуславливает высокое биоразнообразие и уникальность этих лесных массивов в

целом (Нотов и др., 2016, 2017; Notov et al., 2019; Мейсунова и др., 2020). Исследования состояния таких территорий представляет существенный интерес для развития системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ), разработки мероприятий по сохранению редких и исчезающих видов растений (Присяжная и др., 2016).

В этой связи, актуальны исследования, обеспечивающие оперативный мониторинг состояния и динамики лесов таких территории. Эффективным методом оценки степени влияния разных факторов на состояние лесов являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Метод ДЗЗ дает широкие возможности для исследования разных процессов, в том числе для оценки степени нарушенности лесных экосистем, полноты древостоя, выявления очагов лесных пожаров, вырубок разного возраста и т.д. (Маркс, 2011; Шумаков и др., 2012; Евдокимов, Махалат, 2015; Зуев и др., 2018; Королева и др., 2018; Лебедев, 2020; Сметанина, Мейсунова, 2021).

Цель работы – провести сравнительный анализ состояния лесов в Осташковском и Торопецком лесничествах Тверской области на основе данных ДЗЗ. Задачи: 1) дать краткую характеристику исследуемых территорий; 2) создать снимки Santinel-2 с разными комбинациями спектральных каналов и провести их тематическое дешифрирование; 3) оценить уровень и основные факторы негативного воздействия на состояние лесов изучаемых лесничеств.

**Методика исследования.** Объект исследования – леса Осташковского и Торопецкого лесничеств, которые расположены в юго-западной части Тверской области на территории лесного фонда пяти муниципальных районов: Осташковского, Пеновского, Селижарского, Торопецкого и Андреапольского (рис. 1). Оба лесничества расположены в зоне хвойно-широколиственных лесов Европейской части России. Общая площадь модельной территории 1059211 га, в том числе в Осташковском лесничестве 614 863 га; Торопецкое – 444 348 га (Лесохозяйственный..., 2016а, б). Она включает 24 участковых лесничества Осташковского и 13 участковых лесничеств Торопецкого. По целевому назначению и категориям защитных лесов в лесничествах выделяют защитные, ценные и эксплуатационные леса (Схема..., 2018). Сравнимые лесничества отличаются по соотношению этих категорий лесов. В Осташковском лесничестве преобладают защитные (43%) и ценные леса (39%), в Торопецком – эксплуатационные (67%).

Оценка состояния лесов двух лесничеств проведена в 2019–2021 гг. Она включала несколько этапов (Скрипчинский, 2010; Малышева, 2018; Мейсунова, Сметанина, 2021). На подготовительном этапе выбрали слой с квартальной сетью Торопецкого и

Осташковское лесничество, на основе которых были созданы слои с контурами данных лесничеств для загрузки на сайт USGS. Источником изображений служили данные со спутников с 2019 по 2021 гг. из открытых источников (Геологическая служба США). Для работы отобрали 11 снимков, включающих территорию Осташковское лесничества, и 12 снимков для Торопецкого. Для архивной съемки использовано 10 снимков КА Sentinel-2 в период с 13.05.2019 по 23.07.2019; для текущей съемки – 13 снимков КА Sentinel-2 в период с 15.04.2021 по 17.10.2021. Разное число съемок обусловлено необходимостью получения безоблачного покрытия.

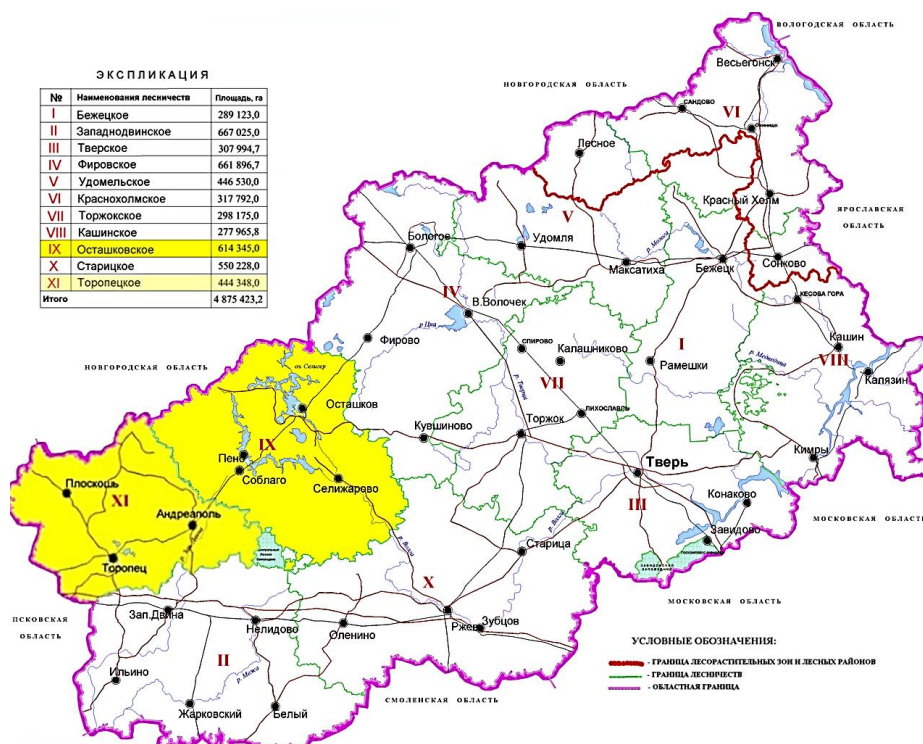
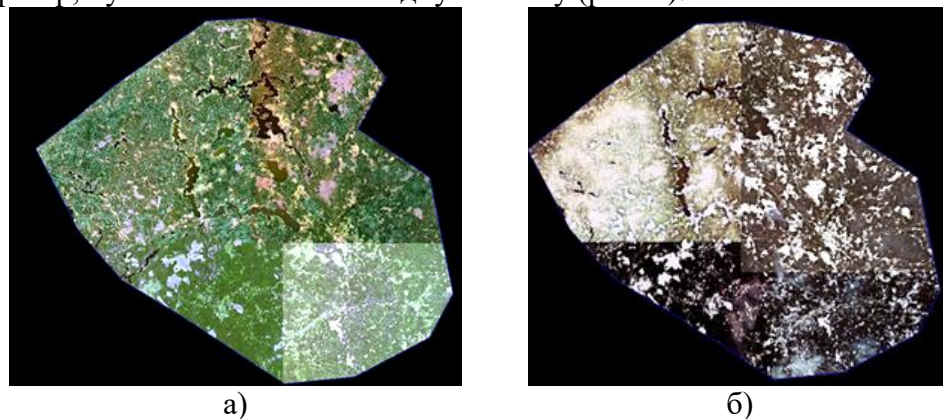


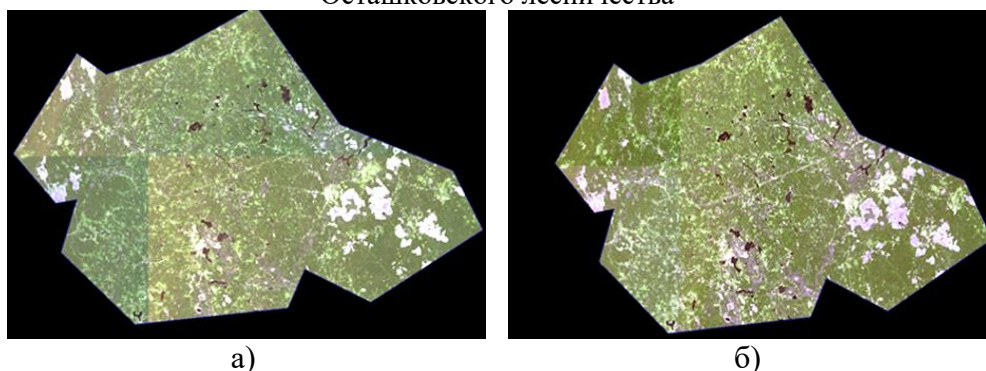
Рис. 1. Схема расположения Торопецкого и Осташковского лесничеств Тверской области (по: Лесохозяйственный..., 2016а, б)

Технологический этап включал геометрическую коррекцию и тематическую обработку космических снимков с помощью ПО ScanEx IMAGE Processor v.5.1. Для идентификации разных факторов воздействия на состояние лесов были подобраны комбинации спектральных каналов. Для распознавания рубок использовали комбинацию спектральных каналов 2, 3, 4 (Sentinel-2) (Blue, Green, Red) – видимые цвета спектра («естественные цвета») (Евдокимов, Махалат, 2015; Мейсурова, Сметанина, 2021). При получении мультиспектрального синтеза был выбран 2 канал (Red) текущего

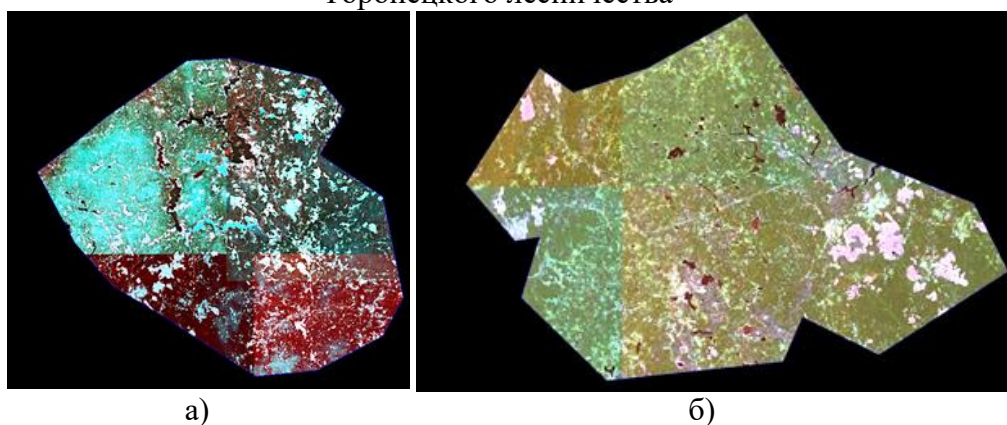
снимка, 3 (Green) и 4 (Red) канала архивных снимков (рис. 2,3). Снимки архивного и текущего периода были скомпонованы в один растр, путем их сшивания в одну мозаику (рис. 4).



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



а) б)  
Рис. 3. Мозаика текущих (а) и архивных снимков (б)  
Горопецкого лесничества



а) б)  
Рис. 4. Мозаика мультитременных композитов Осташковского (а)  
Горопецкого (б) лесничеств

Для идентификации подтопления использовали комбинацию спектральных каналов 5, 6, 2 (Santinel-2) (Visible and Near Infrared, Visible and Near Infrared, Blue) – «здоровая растительность» с преобладанием фиолетовых оттенков (Healthy Vegetation); сухостоя и ветровалов – комбинацию каналов 5, 4, 3 (Santinel-2) (Visible and Near Infrared, Red, Green) – «искусственные цвета» с преобладанием красного цвета (False Colors) (Тематическое..., 2020; Мейсурова, Сметанина, 2021).

Дешифрование снимков проведено в ПО Mapinfo. Атрибутивной информацией, предназначенной для дешифрования, служили следующие параметры – адресная часть найденного участка, а именно участковое лесничество, квартал, выдел, номер отрисованного участка, площадь участка, вид фактора.

**Результаты и обсуждение.** Дешифрование космических снимков Santinel-2 с комбинацией спектральных каналов «естественные цвета» (каналы 2, 3, 4) позволило идентифицировать антропогенные изменения на территориях исследуемых лесничеств – вырубки леса (рис. 5–6). Здоровая растительность на снимке имеет зеленый цвет, нездоровая растительность – коричневый или желтый оттенок. Изменения, в результате которых земли лесного фонда сменили статус с покрытых лесом земель на категорию вырубки, отображены на снимке белыми оттенками. В зависимости от конфигураций участков с изменениями, отображенных белыми оттенками на снимках, определены типы рубок и их интенсивность.



Рис. 5. Сплошные рубки в Торопецком лесничестве на снимке Santinel-2 в синтезе «естественные цвета» в масштабе 1:50000

В результате дешифрования снимков Santinel-2 выяснено, что на территории Торопецкого лесничества ведутся сплошные рубки. На снимках участки имеют неправильные геометрические формы и

прямые углы (рис. 5). Участки с лесозаготовкой, зарастающие свежие вырубki и сохранившиеся участки лесной растительности располагаются в неупорядоченном виде, близко прилегают друг к другу. Многочисленность делянок ярко белого цвета на снимках не соответствует принципу рациональной лесозаготовки и лесовосстановления и свидетельствует об очень интенсивной лесозаготовке в Торопецком лесничестве. Отметим, что территориальное расположение выявленных участков сплошных рубок создает высокую угрозу возникновения массовых ветровалов, при которых утрачивается древесная растительность.

Анализ космических снимков Santinel-2 показал, что на территории Осташковского лесничества также активно ведутся лесозаготовительные работы (рис. 6). Однако в отличие от Торопецкого, в Осташковском лесничестве интенсивная лесозаготовка осуществляется с применением другого подхода – чересполосные постепенные рубки. Главное отличие таких рубок состоит в том, что участок, отведенный в рубку, вырубается не в один прием, а постепенно в 2–3 приема чередующимися полосами одинаковой шириной. Такой метод рубки обеспечивает сохранение водоохранно-защитных функций леса, отсутствие смен пород на вырубленных участках, значительно меньшую эрозию почвы (Азаренок, Залесов, 2015).



Рис. 6. Чересполосные рубки в Осташковском лесничестве на снимке Santinel-2 в синтезе «естественные цвета» в масштабе 1:50000

В обоих лесничествах определены площади вырубок за исследуемый период (табл. 1). Установлено, что на территории Торопецкого лесничества заготовка древесины ведется более интенсивно, чем в Осташковском. Общая площадь вырубленной

территории в Торопецком лесничестве составила 4883,4 га (около 1% от всей площади). Наибольшее число делянок сосредоточено в Бологовском участковом лесничестве Андреапольского муниципального округа. Общая площадь вырубок на территории Осташковского лесничества меньше и составила 1998,5 га (0,3% от всей площади). Участки с рубками преимущественно сосредоточены в Пеновском муниципальном районе в Слаутинском участковом лесничестве. Сравнение площадей делянок с лесоизменениями показывает, что интенсивность лесозаготовки на основе договора аренды лесного участка и лесных деклараций выше в 9,7 раз, чем на основе договора купли-продажи.

Таблица 1

Результаты дешифрирования данных ДЗЗ  
по Осташковскому и Торопецкому лесничествам

Фактор	Число участков, шт	Площадь, га	На основе лесных деклараций, шт
Торопецкое лесничество			
Вырубки	1180	4883,4	1062
Нарушение гидрологического режима	4	13,2	-
Ветровалы (буреломы)	9	27,3	-
<b>Всего</b>	<b>1193</b>	<b>4923,9</b>	<b>1062</b>
Осташковское лесничество			
Вырубки	526	1998,5	486
Нарушение гидрологического режима	10	12,3	-
Ветровалы (буреломы)	166	813,4	-
<b>Всего</b>	<b>702</b>	<b>2824,2</b>	<b>486</b>

С помощью снимков Sentinel-2 с комбинацией спектральных каналов Healthy Vegetation (каналы 5,6,2) удалось идентифицировать лесоизменения, связанные с влиянием природных факторов. В Торопецком и Осташковском лесничествах выявлены участки с нарушенным гидрологическим режимом (рис. 7). Растительность на снимках изображена темно-зеленым цветом, вырубленные делянки – фиолетово-розовым; зарастающие растительностью вырубки – светло-зеленым; водные объекты – от темно синего до черного цвета в зависимости от их глубины (Мейсурова, Сметанина, 2021).

Определен возраст и состояние растительности на затопляемых участках рядом с объектами гидрографии. По интенсивности цвета (пикселей) растительность возле подтопляемых участков относится к I классу возраста древостоя (молодняки). На снимке такая

растительность имеет сглаженную структуру в отличие той, что растет на не затопляемых местах. Древесная растительность имеет также заметно меньшую высоту, которая, изменяется от центра подтопляемой территории к ее периферии.

Площади подтопляемых участков с нарушением гидрологического режима в обоих лесничествах сходны: в Осташковском лесничестве 12,3 га, в Торопецком – 13,2 га (табл. 1).



Рис. 7. Снимки Santinel-2 с комбинацией каналов Healthy Vegetation территории Торопецкого лесничества в масштабе 1:20000

Кроме подтопляемых участков, на изучаемых территориях выявлены ветровалы (буреломы). Они идентифицированы на снимках Santinel-2 с комбинацией спектральных каналов False Colors (каналы 5,4,3) (рис. 8). На таких снимках эти участки окрашены насыщенными оттенками фиолетового цвета, а открытые участки – ярко салатные. На снимке Santinel-2, участки с ветровалами (буреломами) имеют продолговатую форму и повторяют направление порывистого ветра на значительной части площади. Участки с ветровалами приурочены преимущественно к перестойным темнохвойным лесам.

Оценка площади участков, поврежденных ветровалами и буреломами, показала их разные размеры в изученных лесничествах. Несмотря на то, что заготовка древесины в Осташковском лесничестве осуществляется в меньшем объеме, площади погибших насаждений от



сильных порывов ветра, преобладают именно в этом лесничестве. Площадь территории с ветровалами в Осташковском лесничестве существенна и составляет 813,4 га. Вероятно, рубки в Осташковском лесничестве проводятся с нарушением правил. Вырубленные участки очень близко расположены друг к другу. В результате нарушения правила чересполосных рубок лесная растительность между делянками становится более уязвимой к выпадению при сильном ветре. В Торопецком лесничестве, где осуществляется интенсивная заготовка древесины, общая площадь участков с ветровалами (буреломами) существенно меньше – 27,3 га.

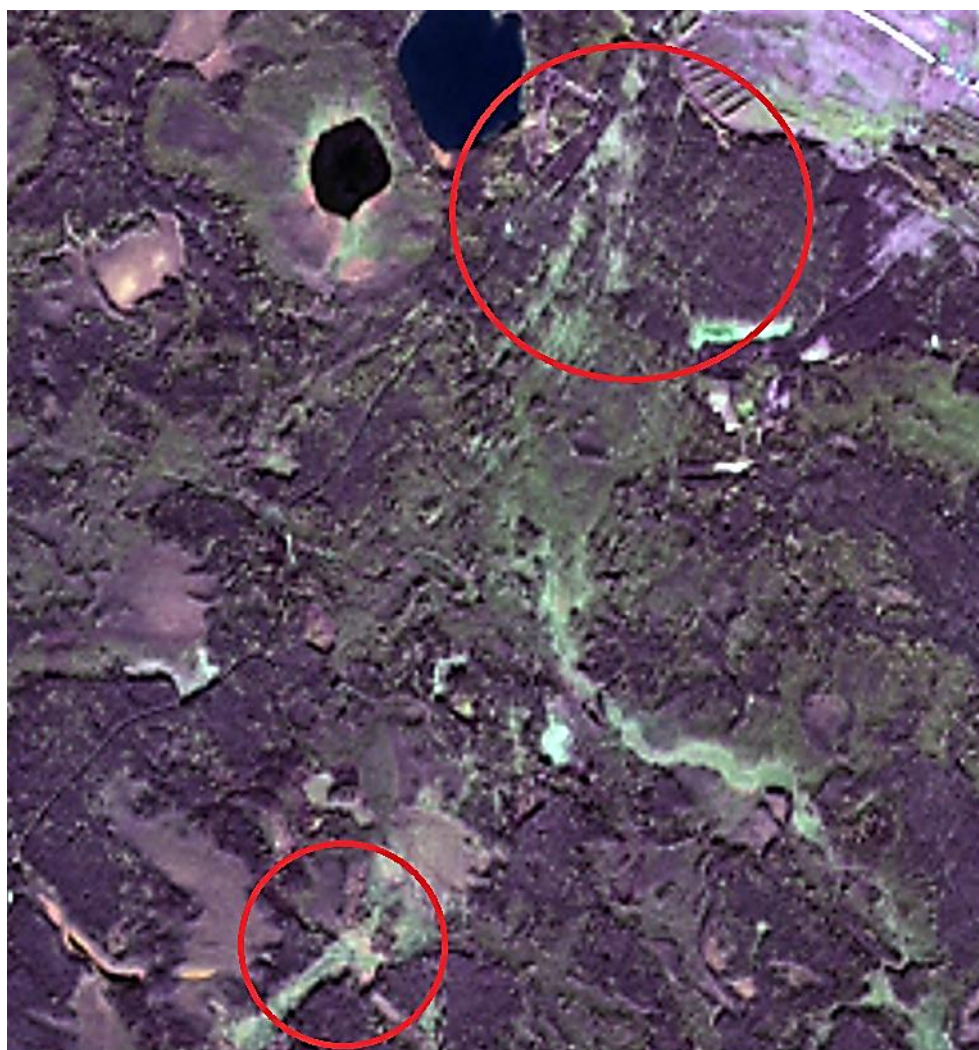


Рис. 8. Снимки Santinel-2 с комбинацией каналов False Colors территории Осташковского лесничества в масштабе 1:50000

Таким образом, с помощью данных ДЗЗ на территориях Торопецкого и Осташковского лесничеств были определены лесоизменения, вызванные как антропогенными, так и природными факторами. Созданные снимки Santinel-2 изученных территорий с разными сочетаниями спектральных каналов (комбинация 4, 3, 2 «естественные цвета»; 5, 6, 2 – «здоровая растительность»; 5, 4, 3 – «искусственные цвета») позволили идентифицировать виды основных лесоизменений: рубки (сплошные, выборочные, чересполосные, зарастающие участки, лесосеки на стадии освоения), подтопление, ветровалы и буреломы. Выяснено, что общая площадь всех видов лесоизменений в лесничествах в 2019–2021 гг. составила 7748,1 га. Мониторинговые исследования показали, что в Торопецком лесничестве общая площадь произошедших лесоизменений выше (4923,9 га – 1,1% от всей площади), чем в Осташковском (2824,2 га – 0,5 %). В обоих лесничествах изменения состояния лесов связаны преимущественно с антропогенным фактором – вырубка лесных насаждений с целью заготовки древесины. Общая площадь вырубленных лесов в лесничествах за последние три года составила 6881,9 га (88% от общей площади лесоизменений): в Торопецком – 4923,9 га (99%); в Осташковском – 1998,5 га (70%). Природные факторы в меньшей степени влияют на динамику состояния лесов. Однако нарушение правил чересполосных рубок в Осташковском лесничестве косвенно усиливает воздействие природных факторов, вызывая при сильном ветре ветровалы. Общая площадь лесоизменений связанных с ветровалами (буреломами) в Осташковском лесничестве составляет 813,4 га (28%).

**Заключение.** С помощью данных ДЗЗ проведены мониторинговые исследования состояния лесов в Торопецком и Осташковском лесничествах. Космические снимки Santinel-2 изученных территорий с разными сочетаниями спектральных каналов позволили идентифицировать лесоизменения за последние три года. Установлено, что в целом состояние лесов изученной территории удовлетворительное. Общая площадь лесоизменений в лесничествах составила не более 1 % от общей площади. Основной вид антропогенного воздействия – рубка лесов для заготовки древесины. В обоих лесничествах рубки не соответствует принципу рациональной лесозаготовки и лесовосстановления. Выяснено, что интенсивность лесозаготовок в Торопецком лесничестве выше, чем в Осташковском. Однако в Осташковском лесничестве чересполосные рубки ведутся с нарушением правил, что усиливает воздействие ветровалов, прежде всего в старовозрастных лесах, в которых встречаются редкие и исчезающие виды.

### **Список литературы**

- Азаренок В.А., Залесов С.В.* 2015. Экологизированные рубки леса: учебное пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. 97 с.
- Евдокимов С.И., Михалач С.Г.* 2015. Определение физического смысла комбинации каналов снимков LANDSAT для мониторинга и состояния наземных и водных экосистем // Вестн. ПсковГУ. Сер. Естественные и физико-математические науки. № 5. С. 21-32.
- 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 ГКУ «Осташковское лесничество Тверской области».* 2016а / Министерство лесного хозяйства Тверской области: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://les.tver.ru/np-baza/np-dokumenty/lesnoy-plan-i-reglamenty/> (дата обращения 03.11.2021).
- Лесохозяйственный регламент ГКУ «Торопецкое лесничество Тверской области».* 2016б / Министерство лесного хозяйства Тверской области: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://les.tver.ru/np-baza/np-dokumenty/lesnoy-plan-i-reglamenty/> (дата обращения 03.11.2021).
- Мальшиева 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.
- Мейсунова А.Ф., Сметанина Н.Ю.* 2021. Оценка влияния антропогенных и природных факторов на состояние лесов с помощью данных дистанционного зондирования в Старицком лесничестве Тверской области // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 3 (63). С. 127-137.
- Нотов А.А., Зуева Л.В., Нотов В.А., Мейсунова А.Ф., Андреева Е.А.* 2016. Специфика флоры озерных комплексов юго-западной части Валдайской возвышенности и проблема сохранения биоразнообразия // Вестн. ТвГУ.

- Сер. Биология и экология. № 4. С. 241-266.
- Нотов А.А., Мейсурова А.Ф., Зуева Л.В., Нотов В.А., Андреева Е.А., Иванова С.А.* Некоторые итоги реализации модели комплексного биомониторинга экосистем Верхневолжья // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2017. № 2. С. 244-269.
- Присяжная А.А., Чернова О. В., Снанкин В.В.* 2016. Развитие системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) – основа сохранения биологического разнообразия природных комплексов // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2016. № 1. С. 1-12.
- Скрипчинский А.В.* 2010. Динамика лесов окрестностей г. Ставрополя по материалам космической съемки // Вестн. Ставропольского гос. ун-та. № 69. С. 159-163.
- Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения.* 2020 / А.Н. Шихов, А.П. Герасимов, А.И. Пономарчук, Е.С. Перминова; Пермский гос. нац. исслед. ун-т: учебное пособие. Пермь. 191 с.
- Характеристика лесов Тверской области* (сведения из Государственного лесного реестра). 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://xn--e1afjcg0a.xn--80aacpr4ajwpkgbl4lpb.xn--p1ai/deyatelnost-igov/lesresurs/?special=y> (дата обращения 21.03.2022).
- 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.
- Notov A.A., Himelbrant D.E., Stepanchikova I.S.* 2019. New records of lichens and lichenicolous fungi from the Tver Region // *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*. T. 53-1. С. 157-166.

## **REMOTE FOREST MONITORING IN FORESTRIES OF THE TVER REGION**

**A.F. Meisurova, N.Y. Smetanina**

Tver State University, Tver

Remote monitoring of forest changes caused by anthropogenic and natural factors in the forests of the Tver region in 2019-2021 was conducted. With the help of a series of satellite images Santinel-2 with different combinations of spectral channels, logging, flooding, windbreaks (windbreaks) in Ostashkov and Toropets forests were identified. It was found that for the last three years the area of all afforestation was 7,748.1 ha. The main type of anthropogenic impact is deforestation for timber harvesting. In both forestries, felling is not fully in line with the principle of rational logging. The intensity of logging in Toropets forestry is higher than in Ostashkovsky. Violation of the rules of cross-strip felling in Ostashkovsky forestry intensifies the action of winds, causing windbreaks of old-growth forests, where rare and endangered species are concentrated.

**Keywords:** *remote sensing of the Earth, anthropogenic factors, monitoring, satellite imagery, GIS, Toropetsky forestry, Ostashkovsky forestry, Tver region, biodiversity, logging, windwaters, burrells.*

*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. Дистанционный мониторинг состояния лесов в лесничествах Тверской области / А.Ф. Мейсурова, Н.Ю. Сметанина // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2022. № 1 (65). С. 194-206.