

Физическая география и геоэкология

УДК 911.8

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2022-4-105-113>

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕСА НА ПРИМЕРЕ КУЛИЦКОГО УЧАСТКОВОГО ЛЕСНИЧЕСТВА

Л. В. Муравьева, А. Р. Сергеев, О. Ю. Сурсимова

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

В статье анализируется состояние лесов Тверского лесничества на примере Кулицкого участкового лесничества. Выполнена интегральная оценка экологического состояния. При помощи ГИС-технологий и методов дистанционного зондирования земли были составлены и проанализированы тематические карты. Интегральная оценка степени преобразованности свидетельствует об удовлетворительном состоянии леса Кулицкого участкового лесничества.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, лесопользование, геоинформационные методы, степень преобразованности леса.

Введение и постановка проблемы

Леса являются одним из важнейших компонентов в окружающей среде и играют важную роль в функционировании ландшафтов, выполняют функции, которые необходимы для жизнедеятельности организмов, а также являются глобальным регулятором природной среды. В настоящее время леса подвержены существенным антропогенным воздействиям, что приводит к ухудшению их состояния и развития. Оценка состояния лесов является важной составляющей мониторинга окружающей среды.

Целью нашего исследования являлось интегральная экологическая оценка состояния лесов на примере Кулицкого участкового лесничества с применением геоинформационных методов и данных дистанционного зондирования земли. Выбор данного участка Тверского лесничества обусловлен большим разнообразием лесных формаций. Большая часть территории занята мелколиственными и елово-мелколиственными лесами. Здесь местами сохранились участки условно коренного елового леса. Присутствуют также участки верховых болот с различной степенью антропогенной нарушенности, вызванной разработками торфяной залежи в результате производственной деятельности торфодобывающей компании ООО «Васильевский мох». По состоянию на 1 января 2021 г. площадь рабочего участка торфоразработки в пределах Святинского Мха составляла 232 га [1]. Ранее разрабатываемые участки, на которых торфодобыча была свернута

в связи с упадком отрасли в 1990-х годах [1], характеризуются закономерными эволюционными преобразованиями. В связи с этим, необходимо проведение детального анализа экологического состояния данной территории, с целью создания прогнозов изменения текущей ситуации и предложения мероприятий по смягчению негативных экологических воздействий.

Результаты исследования

Для решения поставленных задач применялись методы анализа космоснимков [3, 5] Landsat-5 TM и Landsat-8 OLI по методике Wentao Yea, Xi Li [5], которая предусматривала изокластерное выделение лесов и перевод их в векторное изображение. В качестве топографической основы при составлении электронных карт была использована карта ESRI World Topo.

Для проведения полуавтоматического дешифрирования был осуществлен подбор космических снимков высокого разрешения. В качестве космических снимков были выбраны мультиспектральные космические снимки Landsat-8 OLI [3, 4]. Снимки подобраны за тот период года, когда лесные участки находятся в фазе активной вегетации, а также при учете степени покрытия снимка облаками (менее 30%): 18 июля 2021 г.

Для выделения контуров леса были использованы следующие каналы набора мультиспектральных космических снимков – 5-й канал (ближний инфракрасный спектральный канал), 4-й канал (красный спектральный канал) и 3-й канал (зелёный спектральный канал). Выделение лесов производилось с использованием калькулятора растров и формулы расчета Forest Index (FI) [6]:

$$FI = \frac{(B5 - B4 - L)}{B5 + B4} * \frac{c1 - B5}{c2 + B3},$$

где B_4 – красный спектральный канал, B_5 – ближний инфракрасный спектральный канал и B_3 – зелёный спектральный канал, а значения L , c_1 и c_2 были установлены китайскими исследователями эмпирическим путем и составили 0,01, 1 и 0,1 соответственно. Диапазон FI составляет от минус бесконечность до 10. Искомое цифровое значение леса, которое позволило в дальнейшем отделить контура леса от остального изображения, составило $<3,5$ [6].

Ранее нами была составлена карта «основных лесных формаций в пределах Тверского лесничества на 2021 г.» [2], которая позволила детально изучить особенности лесных территорий Кулицкого участкового лесничества. На основе этой карты, а также лесотаксационных описаний Тверского лесничества за 2020–2021 гг. и адаптации полученных числовых данных под квартальную сетку лесов

Тверского лесничества, было проанализировано состояние лесов Кулицкого участкового лесничества.

В основу интегральной оценки степени преобразованности лесов Кулицкого участкового лесничества была положена балльная оценка по ряду параметров:

I. *Морфометрическая оценка.* В основе оценки лежат такие параметры, как возраст, высота и диаметр ствола, проективное покрытие кроны и т.д. Данные получены из статистических отчетов Министерства лесного комплекса Тверской области. Шкала оценки – в табл 1.

Таблица 1

Шкала морфометрической оценки леса

Характеристики объекта	Баллы
Хвойный и лиственный древостой I–II классов бонитета с длинными и широкими кронами деревьев, хорошей проходимостью по участку, со здоровым подлеском и подростом средней густоты, отсутствием на участке захламленности и мертвого леса	3
Древостой среднего класса бонитета (III). Присутствуют насаждения ольхи, березы и осины до 5 ед. состава при средней ширине и длине крон, густом или угнетенном подросте и подлеске с частичной захламленностью	2
Древостой низших классов бонитета (IV–V). Преобладание на данных территориях ольхи, березы и осины с плохоразвитыми кронами и частичной захламленностью	1

II. *Проведение рубок ухода* – данные по показателю брались из материалов лесотаксационных описаний Тверского лесничества. Для удобства использования было принято следующее обозначение: 1 балл – рубка ухода проводилась; 0 баллов – рубок ухода не было.

III. *Проведение мероприятий лесовосстановления.* В соответствии с терминологией продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (FAO), под термином «лесовосстановление», подразумевается «процесс естественного восстановления или восстановление лесов путем посадки и/или преднамеренного посева древостоя на землях, уже находящихся в лесном землепользовании». Исходя из этого, для оценки было предложено следующее балловое обозначение: 1 балл – лесопосадки проводились, 0 баллов – лесопосадки отсутствуют;

IV. *Патологии леса:* показатель подразумевал в себе выявление в ходе полевых обследований сотрудниками Тверского лесничества патологических проявлений в лесах, расположенных в границах лесных кварталов. Лесопатологии включают в себя 3 фактора влияющих на состояние лесной растительности: наличие/отсутствие – 1) болезней

(смоляной рак, корневая губка), 2) насекомых вредителей, которые уничтожают древесную растительность, а также 3) ветровалов. Для составления в дальнейшем интегральной оценки, по показателю лесопатологии предложено балльное обозначение, где: 3 балла – лесопатологий нет; 1 балл – выявлена патология леса по одному из показателей (болезни, вредители, ветровалы); 0 баллов – комбинированное сочетание (болезни + вредители + ветровалы).

V. *Отклонение значения нормализованного вегетационного индекса (NDVI) от значения NDVI на эталонном участке.* Нормализованный вегетационный индекс – это числовой показатель качества и количества растительности на участке поля. Расчет данного индекса осуществляется по спутниковым снимкам и зависит от способности растений отражать и поглощать световые волны разной длины [3]. Рассчитывается по формуле:

$$NDVI = (\text{диапазон } 5 - \text{диапазон } 4) / (\text{диапазон } 5 + \text{диапазон } 4),$$

где диапазон 5 – видимый красный (0,64–0,67 мкм); диапазон 4 – ближний инфракрасный (0,85–0,88 мкм).

В пределах Кулицкого участкового лесничества встречаются участки коренного и болотного леса. Эталоном коренных лесов стал квартал №166 (еловый лес) с усредненным по кварталу значением (далее усред. знач.) $NDVI = 0,75$. Эталоном болотных лесов – квартал 95 (участок верхового болота с сосной) с усред. знач. $NDVI = 0,67$.

Было рассчитано отклонение индекса каждого квартала от эталонных значений выбранных участков:

$$K = (NDVI_i - NDVI_{\text{эталон}}) / NDVI_{\text{эталон}},$$

где $NDVI_i$ – усредненное значение NDVI для каждого квартала; $NDVI_{\text{эталон}}$ – значение NDVI для выбранных эталонных участков; k – отклонение значения NDVI от эталона.

Далее был определен балл отклонения по представленной ниже шкале:

- от 0 до 0,01 – 3 балла
- от 0,02 до 0,075 – 2 балла
- от 0,075 до 0,15 – 1 балл

VI. *Степень нарушенности леса.* В соответствии с сукцессионным подходом в оценке состояния лесов, сосновые и еловые леса представляют собой коренные и условно коренные типы леса. Любое их замещение представителями мелколиственного леса (производные типы леса), является следствием трансформации лесных сообществ. Основной причиной трансформаций леса служит сочетание природных и антропогенных факторов.

Для выделения лесных формаций, была использована шкала балловых значений, составленная по принципу отклонения показателя от эталонного (коренного типа леса) (табл. 2).

Таблица 2

Соответствие лесных формаций балловому значению шкалы

Лесная формация	Шкала баллового значения
Еловый	3
Сосновый	3
Мелколиственный с сосной; Мелколиственный с елью; Мелколиственный	1

Далее в соответствии с полученными при помощи инструмента «Зональная статистика» значениями, были определены баллы нарушенности для каждого квартала по разработанной шкале:

- от 1 до 1,5 баллов – сильнонарушенный
- от 1,5 до 2,5 баллов – средненарушенный
- от 2,5 до 3 баллов – слабнонарушенный

Для кварталов, попадающих в зону болотных лесов, была разработана отдельная градуированная шкала (табл. 3).

Таблица 3

Сопоставления формаций болотного леса со степенью нарушенности и балловому значению шкалы

Формации болотного леса	Степень нарушенности	Шкала баллового значения
Коренное верховое болото (ненарушенные антропогенной деятельностью болота)	Малонарушенные болотные леса	3
Болота, в пределах которых велась разработка и добыча торфа, но ныне зарастающие мелколиственными породами	Средненарушенные болотные леса	2
Участки добычи торфа с отсутствием древесного яруса, местами обводненные	Сильнонарушенные болотные леса	1

Расчет интегральной оценки преобразованности лесов Кулицкого участкового лесничества, проводился путем суммирования полученных баллов (табл. 4).

Степень преобразованности леса оценивалась в баллах по следующей шкале:

- менее 7 – критический уровень преобразованности;
- от 7 до 9 – сильно преобразованные леса;
- от 9 до 11 – средне преобразованные леса;

- более 11 – слабо преобразованные леса.

По полученным результатам была составлена карта интегральной оценки степени преобразованности лесов Кулицкого участкового лесничества на 2021 г. (рис.).

Из представленных на карте данных видно, что:

1. **Критический уровень преобразованности** леса в следствии взаимодействия природных и антропогенных факторов, отмечен в 15 кварталах участка (7% территории), расположенных в основном на севере лесничества. В настоящее время здесь продолжается активная торфодобыча на скупленных ООО «Васильевский мох» участках в пределах болота Святинский мох. Именно здесь сформировалось ядро наибольшего антропогенного напряжения, которое оказывает дестабилизирующее воздействие на близлежащие кварталы. Включает в себя верховые болота сильной и средней степени преобразованности.

2. **Сильнопреобразованные леса** включают в себя 73 лесных квартала (44%) и имеют ярко выраженную опоясывающую структуру, окольцовывая очаги критической преобразованности леса и фрагментарно распространяясь на центр и всю северо-восточную периферию лесничества. Ведущим фактором преобразования данных участков также являлась торфодобыча, которая была свернута на рубеже 1990-х–2000-х гг. На западной окраине к фактору воздействия от торфоразработок добавляется близость территориального расположения Октябрьской железной дороги и ряда поселений: Кулицкое сельское поселение, дачный поселок Тверца, д. Тербино.

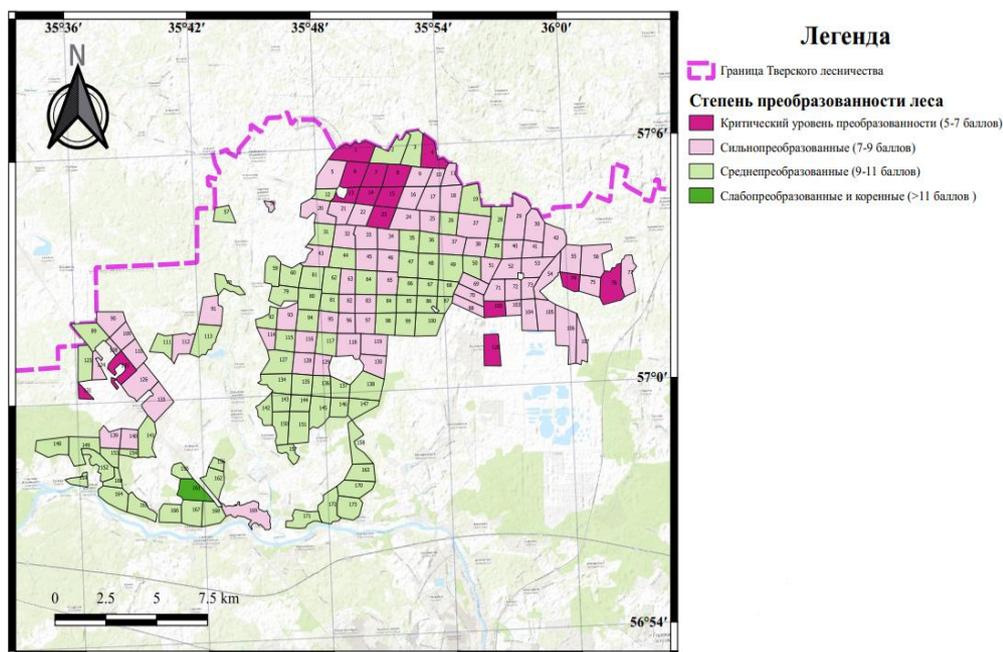
3. **Среднепреобразованные леса** получили наибольшее распространение в описываемом лесничестве – включают 80 кварталов (49%). Отмечается замена елового леса на осиново-березовый и елово-березовый. Присутствуют участки свежих и зарастающих широкополосных вырубок, а также участки зарастания бывших сельскохозяйственных полей мелколиственными деревьями.

4. **Слабопреобразованные и коренные леса** представлены в лесном квартале №161 – фрагмент коренного елового леса, располагающийся на значительном удалении от ближайших сельских поселений, торфоразработок и железной дороги. Лесной квартал №161 в наименьшей степени подвергся антропогенному воздействию: тропиочная сеть развита незначительно, лесопатологий не выявлено, проведены мероприятия рубки ухода.

Таблица 4

Фрагмент сводной матрицы интегральной оценки степени преобразованности лесов Кулицкого участкового лесничества по кварталам

№ квартала	Морфометрическая оценка	Проведение рубок ухода	Лесовосстановление	Патологии леса	Сравнение NDVI с эталоном	Степень нарушения	∑ баллов
1	1	0	0	3	1	2	7
2	3	0	0	3	2	2	10
3	3	0	0	3	2	2	10
4	1	0	0	3	1	2	7
5	3	0	0	3	1	2	9
6	1	0	0	3	2	1	7
7	1	0	0	3	2	1	7



Р и с. Интегральная оценка степени преобразованности леса Кулицкого участкового лесничества на 2021 г. (составлено автором)

Выводы

На основе проведенного анализа данных интегральной оценки экологического состояния леса в пределах Кулицкого участкового лесничества видно, что:

1) Большую часть исследуемой территории составляют средне- (49%) и сильнопреобразованные участки лесов (44%). Критический уровень отмечен в 7% кварталов;

2) Среднепреобразованные леса получили наибольшее распространение в описываемом лесничестве – включают 80 кварталов. В них отмечена замена условно коренного елового леса на осиново-березовый и елово-березовый.

3) Сильнопреобразованные участки в пределах Кулицкого участкового лесничества приурочены к болотным комплексам, подвергшимся осушению и торфоразработке в середине XX в.

4) Слабопреобразованные и коренные леса представлены еловой формацией (1 квартал), располагаются на значительном удалении от селитебных и хозяйственных объектов.

5) Для стабилизации экологического состояния лесных экосистем в пределах Кулицкого участкового лесничества целесообразно проведение санитарных рубок и дальнейший контроль за лесопатологическим состоянием.

6) В пределах нарушенных болотных комплексов необходимо восстановление болотных экосистем, их гидрологического режима путем создания торфяных перемычек на осушительных каналах, посадки древесно-кустарниковой растительности в целях обеспечения их устойчивости в период весеннего половодья и дождевых паводков.

Список литературы

1. Васильевский мох [Электронный ресурс] // Современное производство и продажа продукции из торфа, добытого в одном из самых экологически чистых районов РФ. О компании. URL: <http://vasiltorf.com/company/>.
2. Сергеев, А. Р. Классификация лесов Тверского лесничества на основе анализа снимков спутниковой системы Landsat / А. Р. Сергеев // География, экология, туризм: научный поиск студентов и аспирантов. Материалы X Всероссийской научно-практической конференции, Тверь, 20 мая 2022 года. – Тверь: Тверской государственной университет, 2022. С. 58–61.
3. 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.
4. Терехин Э. А. Распознавание нарушенных лесных экосистем лесостепи на основе спектрально-отражательных характеристик / Э. А. Терехин // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43. № 3. С. 412–418. – DOI 10.18287/0134-2452-2019-43-3-412-418.
5. Терехин Э. А. Сукцессионные процессы на залежах юга Среднерусской возвышенности по данным спутниковых съемок / Э. А. Терехин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 180–193. – DOI 10.21046/2070-7401-2019-16-6-180-193.

6. Wentao Yea, Xi Li*a, Xiaoling Chena, Guo Zhanga. A spectral index for highlighting forest cover from remotely sensed imagery. A State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 43007.

Об авторах:

МУРАВЬЕВА Любовь Валерьевна – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и экологии ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь-21, Прошина, д. 3 корп.2, e-mail: lmuraviova@mail.ru), ORCID: 0000-0002-6434-2056, SPIN-код: 4091-7957.

СЕРГЕЕВ Антон Романович – студент 1 курса магистратуры факультета географии и геоэкологии ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь-21, Прошина, д. 3 корп.2), e-mail: arsergeev2000@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5963-4126, SPIN-код: 7848-7262.

СУРСИМОВА Ольга Юрьевна – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедры физической географии и экологии. ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь-21, Прошина, д. 3 корп.2, e-mail: Sursimova.OY@tversu.ru), ORCID: 0000-0002-0993-3144, SPIN-код: 4111-8066

INTEGRAL ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE FOREST ON THE EXAMPLE OF THE KULITSKY DISTRICT FORESTRY

L.V. Muravyova, A.R. Sergeev, O.Y. Sursimova

Tver state university, Tver

The article analyzes the state of the forests of the Tver forestry on the example of the Kulitsky district forestry. An integral assessment of the ecological state was carried out. Thematic maps were compiled and analyzed using GIS technologies and methods of remote sensing of the earth. An integral assessment of the degree of transformation indicates a satisfactory condition of the Kulitsky district forestry forest.

Keywords: *anthropogenic impact, forest management, geoinformation methods, degree of forest transformation.*