

УДК 502.51(285.3)

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-1-2020-52-60>

## **ИЗУЧЕНИЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ НАРУШЕННЫХ БОЛОТ С ПОМОЩЬЮ СНИМКОВ LANDSAT**

**Л.В. Муравьева**

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

С помощью вегетационных индексов NDVI и SWVI установлено, что наиболее активно процессы зарастания и обводнения на выработанных участках фрезерных полей протекают первые 10-15 лет после окончания торфоразработок. Крупные лесные массивы не развиваются вследствие периодических пожаров. Преобладают вейниковые и тростниковые сообщества с фрагментами мелких березняков. На затопленных участках развиваются тростниковые, осоковые сообщества и осоково-пушицево-сфагновые сплавины.

**Ключевые слова:** *вегетационные индексы, зарастание, обводнение, Landsat.*

Верховые болота являются одними из наиболее устойчивых природных комплексов лесной зоны. Значительное антропогенное воздействие - осушение и добыча торфа, приводят к нарушению первичных компонентов - литогенной основы и водного режима. В результате формируются нестабильные, подверженные пожарам природно-антропогенные комплексы [2]. Как показали исследования на нарушенных участках болот [1-6], через несколько лет после окончания торфоразработок начинаются восстановительные процессы. Снимки Landsat позволяют проследить изменение состояния нарушенных участков болот за длительный период. Задачей исследования стало выявление с их помощью пространственных и временных закономерностей развития природно-антропогенных комплексов.

Объект исследования – болото Оршинский Мох, расположено в 30 км к северо-востоку от г. Твери. Болото образовалось в пределах волнистой озерно-ледниковой равнины, не имеющей выраженного уклона, с остаточным озером в центральной части. Площадь болота – 67,7 тыс. га. Торфяная залежь представлена на большей части верховым торфом, средней мощностью 2,5 - 3,6 м. Наиболее высокие участки болота заняты грядово-мочажинными и грядово-озерковыми комплексами, по периферии и вокруг озер – сосновыми кустарничково-сфагновыми, пушицево-сфагновыми и сфагновыми растительными сообществами. Осушение болота и добыча торфа начались в 1950-х гг. В северо-западной части добыча велась вначале способом гидроторфа, в

дальнейшем – фрезерным. В юго-западной части с конца 1950-х гг. применялся фрезерный способ. Наибольший размах торфоразработки приобрели в 1970-1990 гг. В небольшом объеме они продолжают до настоящего времени.

Для изучения восстановительных процессов были использованы снимки Landsat за период с 1976 по 2019 гг., а также материалы экспедиционных исследований, проведенных автором на нарушенных участках болота в 2007-2018 гг. Снимки Landsat отбирались по признакам: летний сезон, отсутствие облаков, временной интервал между снимками 10-15 лет. Для выявления последствий пожаров 2010 г. были взяты снимки мая 2010 г. (до развития пожаров) и мая 2011 г. (после пожаров). Время съемки – с 10-45 до 11-40 час. по московскому времени. В табл. приведены снимки Landsat, использованные для анализа.

*Т а б л и ц а*

Снимки Landsat, используемые в работе

№	Дата съемки	Спутник, датчик
1	10.09.1976	Landsat 2 MSS
2	18.08.1985	Landsat 5 TM
3	10.07.1994	Landsat 5 TM
4	29.07.1995	Landsat 5 TM
5	01.06.2009	Landsat 5 TM
6	19.05.2010	Landsat 5 TM
7	22.05.2011	Landsat 5 TM
8	13.06.2019	Landsat 8 OLI

Все снимки прошли этап радиометрической и атмосферной коррекции. Вычисления были выполнены в свободно распространяемом программном обеспечении QGIS 3.4.3. Для анализа были вычислены два вегетационных индекса NDVI и SWVI. Индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный индекс растительности, показывает количество фотосинтетически активной биомассы, рассчитывается по формуле:

$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}}$$

где  $R_{nir}$  – значение отражения в ближнем инфракрасном диапазоне и  $R_{red}$  – отражение в красной области спектра.

Индекс SWVI (Shot Wave Vegetation Index) - коротковолновый вегетационный индекс, чувствителен к содержанию влаги в поверхностном слое, в т.ч. в листьях, рассчитывается по формуле:

$$SWVI = \frac{R_{nir} - R_{sswir}}{R_{nir} + R_{sswir}}$$

где  $R_{nir}$  – значение отражения в ближнем инфракрасном диапазоне,  $R_{sswir}$  – значение отражения в среднем инфракрасном диапазоне.

Для изучения изменения состояния природно-антропогенных комплексов применялись разностные вегетационные индексы:

$$Dndvi = NDVI_{pre} - NDVI_{post};$$

$$Dswvi = SWVI_{pre} - SWVI_{post},$$

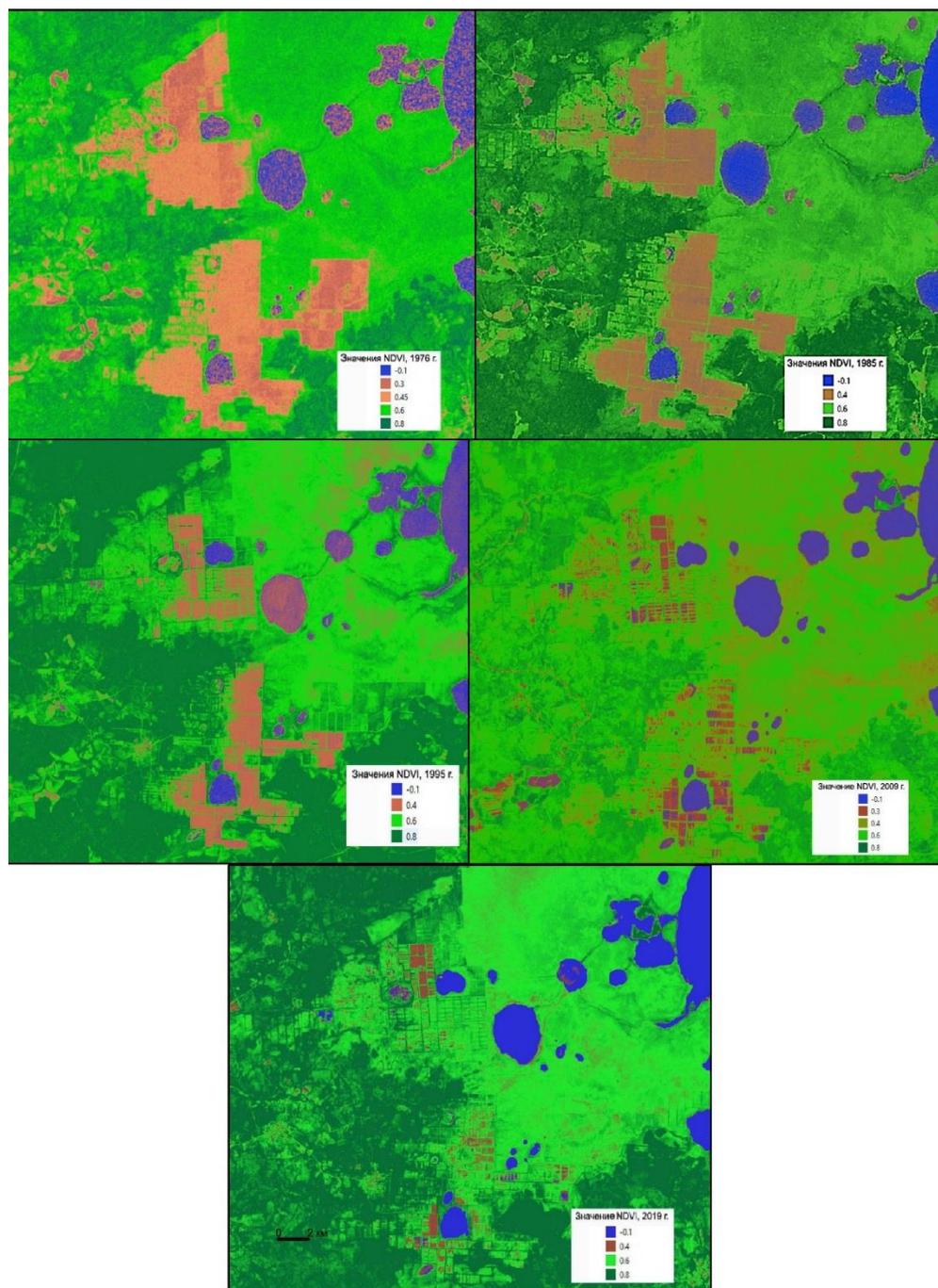
где  $NDVI_{pre}$  и  $SWVI_{pre}$  – значения вегетационных индексов в предыдущий период,  $NDVI_{post}$  и  $SWVI_{post}$  – значения в последующий период.

При интерпретации полученных результатов мы исходили из того, что небольшие (в пределах  $\pm 0,1$ ) различия связаны с погодными условиями, этапом вегетации растительных сообществ, поэтому такие различия игнорировались.

Полевые исследования и анализ космоснимков показали, что основными процессами, изменяющими состояние природно-антропогенных комплексов, являются: зарастание травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, обводнение и зарастание переувлажненных участков влаголюбивой растительностью, образование сплавин.

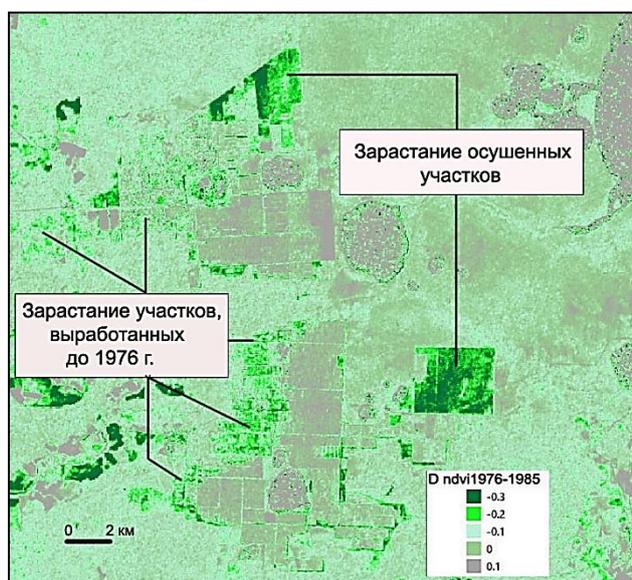
Наиболее общее представление о зарастании, выражающемся в увеличении фотосинтезирующей биомассы, дает вегетационный индекс NDVI. Открытая поверхность торфяной залежи имеет значение NDVI - 0,2-0,45. Повышение значения этого индекса более 0,4-0,45 означает зарастание. С 1976 г. до настоящего времени зарастание привело к покрытию растительностью значительной площади обработанных фрезерных полей, а площадь, не покрытая растительностью, существенно сократилась (рис. 1).

В условиях относительно хорошего дренажа, существовавшего в первые годы после завершения торфоразработок, на участках, выбывших из оборота, развились травянистые с ивняками и лесные сообщества (в основном – березняки травяные). Сомкнутость растительного покрова повышалась по мере увеличения времени, прошедшего после завершения добычи. Быстрее зарастали участки, прилегающие к суходолам, медленнее – удаленные, примыкающие к ненарушенным частям болота. Вероятной причиной являлось наличие семенного материала.



Р и с. 1. Вегетационный индекс NDVI в 1976, 1985, 1995, 2009, 2019 гг.

В первую очередь зарастали участки, на которых к 1976 г. добыча торфа прекратилась – карьеры гидроторфа на северо-западном участке и фрезерные поля – на юго-западном. Интенсивно зарастали осушенные, подготовленные к добыче участки, на которых добыча так и не началась, а также полосы вдоль дорог и крупных осушительных каналов (рис. 2).



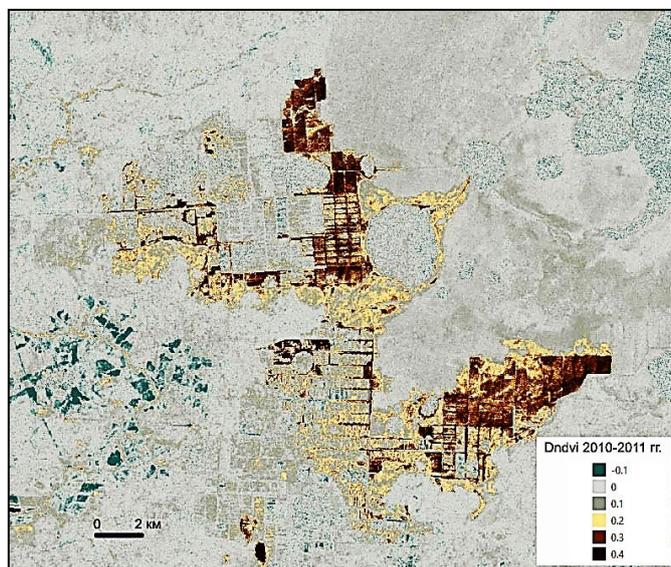
Р и с. 2. Разностный индекс Dndvi 1976 – 1985 гг.  
(показывает увеличение биомассы)

В 1985-1995 гг. эта тенденция сохранилась. С середины 1990-х гг. добыча торфа сократилась, поэтому резко увеличились площади заброшенных, не используемых фрезерных полей, на которых шло активное развитие древесной растительности (березняков). Формированию крупных лесных массивов препятствовали пожары.

Анализируя космоснимки, мы выявили пожары в 1999, 2002, 2010 гг. Влияние пожаров на процесс зарастания рассмотрим на примере пожаров 2010 г. Разностные вегетационные индексы NDVI и SWVI, рассчитанные на период 2010-2011 гг. показали, что пожары распространялись, прежде всего, на осушенных, не разрабатывавшихся или не полностью выработанных участках торфяных полей, осушенных окраинах болота, а также вдоль дорог и каналов. Переувлажненные к этому времени участки, выработанные ранее других, не горели (рис. 3).

Особенно сильным было падение индекса NDVI после пожаров на осушенных площадях, где уже успели к этому времени вырасти березовые леса 25-30-летнего возраста, однако на большей части территории пожары уничтожили мелкие березняки, выросшие после пожаров 1999 и 2002 гг. В послепожарный период с 2011 до 2019 гг. на

выгоревших участках происходил прирост биомассы, к 2019 г. восстановился березовый подрост 8-9 летнего возраста. На участках, не затронутых пожарами, продолжалось развитие древостоя, и индекс NDVI увеличился с 0,5-0,6 в 2009 г. до 0,7-0,8 в 2019 г. Площадь таких участков невелика.



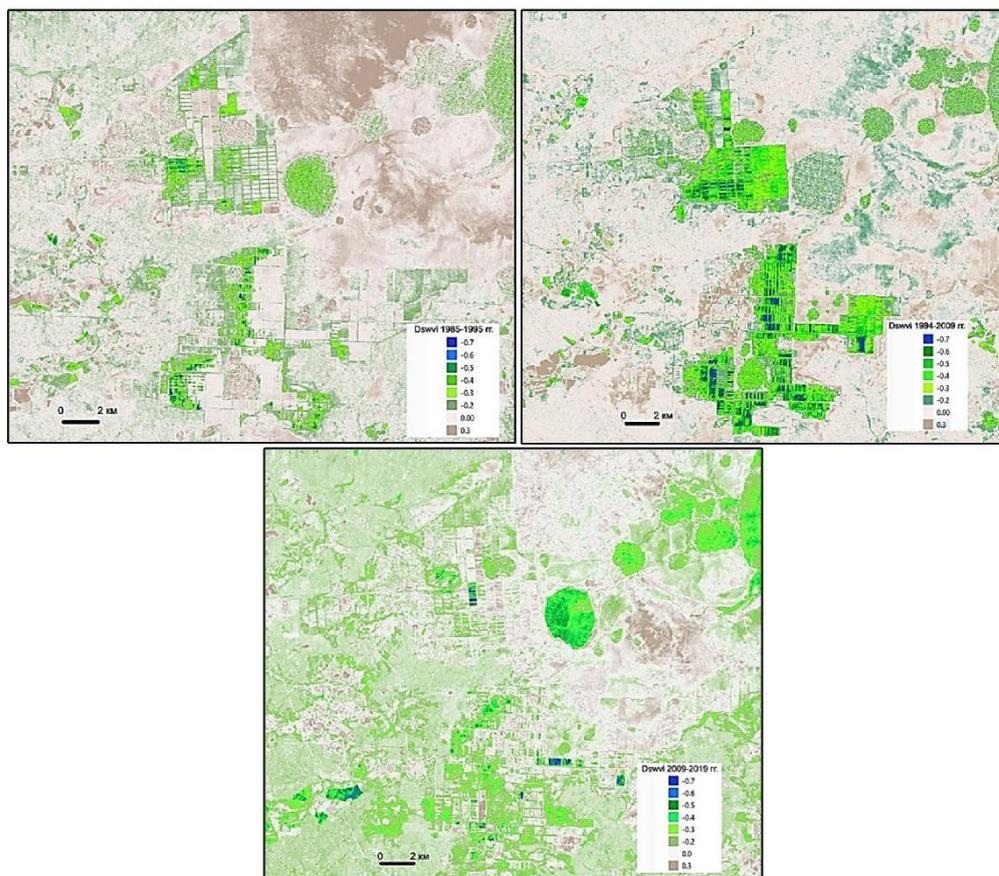
Р и с. 3. Разностный индекс Dndvi 2010-2011 гг.  
(выгоревшие участки)

Периодические пожары препятствовали формированию крупных развитых лесных массивов, которые могли бы изменить водный баланс территории за счет повышенной эвапотранспирации. В результате пожары стали косвенным фактором, способствовавшим повышению увлажненности территории.

Второй процесс, наблюдающийся на выработанных фрезерных полях, – их обводнение, заключается в повышении увлажненности верхних торфяных горизонтов, выходе грунтовых вод на поверхность, образовании мелких водоемов. Обводнение сопровождается зарастанием влаголюбивой растительностью.

Для оценки обводнения были использованы разностные индексы Dswvi для промежутков времени 1985-1995 гг., 1994-2009 гг. и 2009-2019 гг. Интерпретация разностного индекса Dswvi была основана на сравнении изменения индексов SWVI и NDVI. Если оба индекса показывали рост, это означало увеличение биомассы и связанной с ней влаги, содержащейся в листьях. Когда индекс SWVI увеличивался, а NDVI снижался, т.е. происходило увеличение содержания влаги в поверхностном слое без увеличения биомассы – отмечалось

подтопление. Гарантированно, подтопление определялось при изменении индекса Dswvi на 0,6-0,7 (подтопленные участки показаны синим цветом на рис. 4).



Р и с. 4. Разностный индекс Dswvi 1985-1995 гг., 1994-2009 гг., 2009-2019 гг.

С 1985 по 1995 гг. повышение содержания влаги произошло по краю старых фрезерных полей на западе и к югу от оз. Оршинского. С 1994 по 2009 гг. процесс охватил большую часть выбывших из использования фрезерных полей. В последние 10 лет с 2009 по 2019 гг. площадь обводненных участков увеличилась незначительно, в т.ч. за счет искусственного обводнения путем подпруживания осушительных каналов. Оценка изменения состояния природно-антропогенных комплексов, полученная с помощью вегетационных индексов, подтверждается данными полевых наблюдений – их зарастания, подтопления и затопления, образования сплавин.

С 1994 г. на подтопленных и затопленных участках развиваются тростниковые, осоково-пушицевые сообщества, по краям затопленных полей – тростниковые, камышовые, рогозовые, осоковые и др. Особенно интенсивно этот процесс идет в период 2009-2019 гг. Ранее обводненные участки активно зарастают, на значительных площадях идет формирование осоково-пушицево-сфагновых сплавин.

**Выводы.** С помощью вегетационных индексов NDVI и SWVI установлено, что наиболее активно процессы зарастания и обводнения на выработанных участках фрезерных полей протекали первые 10-15 лет после окончания торфоразработок. В течение первых лет происходило формирование растительного покрова на относительно хорошо дренируемых участках, развивались травянистые с ивняками и лесные сообщества (в основном – березняки травяные). Сомкнутость растительного покрова постепенно увеличивалась. Быстрее зарастали участки, прилегающие к суходолам, медленнее – удаленные, примыкающие к ненарушенным частям болота. Вероятной причиной являлось наличие семенного материала. Зарастание прерывалось пожарами 1999, 2002, 2010 гг. Пожары захватывали наиболее сухие участки осушенных и не полностью выработанных фрезерных полей, при этом обводненные участки оставались не затронутыми. Послепожарные сукцессии приводили к восстановлению сгоревших растительных сообществ – в течение 8-10 лет восстанавливались березовый подрост и травянистые сообщества. Пожары препятствовали развитию крупных лесных массивов, тем самым создавая предпосылки для усиления увлажнения.

Обводнение выработанных фрезерных полей протекало параллельно с зарастанием. Особенно широко процесс развился в период 1994-2009 гг. после резкого сокращения добычи торфа. В это время значительно увеличились площади затопленных и переувлажненных выработанных фрезерных полей. В дальнейшем, особенно в период 2009-2019 гг., происходило их зарастание – формировались тростниковые, осоковые, пушицевые сообщества, на поверхности разжиженного торфа образовывались пушицево-сфагновые сплавины.

В результате зарастания и обводнения на большей части нарушенного болота сформировались на дренированных участках вейниковые луга с ивняками и березняки травяные, на слабо дренированных – тростниковые сообщества с фрагментами мелких березняков. Значительную площадь заняли затопленные с открытой водой или заросшие тростниковыми, камышовыми, осоковыми сообществами и осоково- и пушицево-сфагновыми сплавинами участки.

### **Список литературы**

1. Абрамова Л.И. Формирование растительности на выработанных торфяниках (фрезерных полях) // Вестн. МГУ. Сер. Биология, почвоведение. 1968. Вып. 6. С. 75-82.
2. Муравьева Л.В. Освоение, антропогенные изменения и современное состояние болотных геосистем Тверской области. Автореф. дисс....канд. геогр. наук. М.: МПГУ, 2011.
3. Муравьева Л.В. Изменение экологического состояния болотных геосистем при добыче торфа // Вестник Тверского гос. ун-та. Сер. География и геоэкология. 2012. № 1. С. 84-89.
4. Панов В.В. Болотообразовательный процесс и торфяные ресурсы. Восстановление торфяных болот. Томск, 2007.
5. Панов В.В., Веселов Н.В. Принципы классификации выработанных торфяников // Изв. АН. Сер. География. 2002. № 6. С. 86–95. 111.
6. Резников А.И., Исаченко Г.А., Степочкина О.Е., Сколозубова М.В. Динамика ландшафтов после добычи торфа фрезерным способом // Изв. РГО. Т. 136. Вып. 3. 2004. С. 49–62.

### **STUDY OF THE MULTI-YEAR DYNAMICS OF NATURAL-ANTHROPOGENIC COMPLEXES OF DISTURBED BOGS BY USING LANDSAT PICTURES**

**L.V. Muraveva**

Tver State University, Tver

Using the vegetation indices NDVI and SWVI, it was established that the most active processes of overgrowing and flooding in the developed sections of the milling fields occur the first 10-15 years after the end of peat mining. Large forests do not develop due to periodic fires. Small reed and reed communities with plots of small birch forests prevail. In the flooded areas, reed and sedge communities and sedge-pushets-sphagnum quagmire develop.

**Keywords** *vegetation indices, overgrowing, flooding, Landsat..*

*Об авторе:*

МУРАВЬЕВА Любовь Валерьевна – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и экологии ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170021 Тверь, ул. Прошина, д. 3, корп. 2; e-mail: [lmuraviova@mail.ru](mailto:lmuraviova@mail.ru).