

УДК 502.51 (285.3)

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2019-4-57-63>

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ НАРУШЕННОГО УЧАСТКА БОЛОТА ОРШИНСКИЙ МОХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА LANDSAT**

**Л.В. Муравьева**

Тверской государственный университет, г. Тверь

Осушение болота и добыча торфа приводят к увеличению неоднородности теплового поля. Это связано с изменением содержания влаги в поверхностном слое и затоплении отдельных участков, что сказывается на их теплоемкости. Развитие древесного яруса увеличивает затраты тепла на эвапотранспирацию. Формирование сплавины приводит к повышению температуры, фиксируемой Landsat.

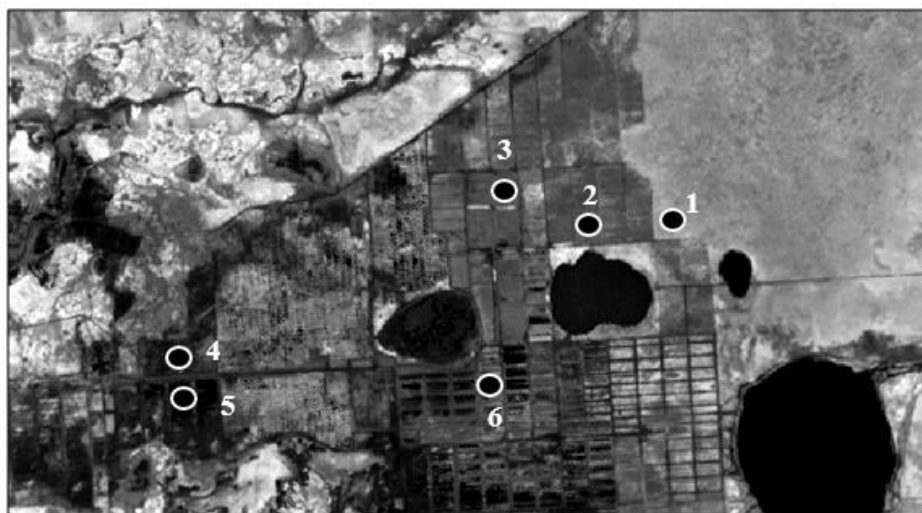
**Ключевые слова:** *тепловое поле, болото, добыча торфа, Landsat.*

Тепловой поток, исходящий от земной поверхности и фиксируемый на мультиспектральном космоснимке, можно рассматривать как один из индикаторов состояния природных и природно-антропогенных комплексов. Измерения в длинноволновом канале позволяют получить информацию о величине теплового потока, выделяемого в атмосферу, т.е. тепла, не затраченного в геосистеме на такие процессы, как эвапотранспирация, фотосинтез, нагревание нижних слоев почвы и другие. Это определяет интерес к пространственно-временному варьированию теплового поля. Под тепловым полем, следуя Ю.Г. Пузаченко и др. [1], мы понимаем совокупность значений температур (теплового потока) во всех точках рассматриваемого пространства в данный момент времени. Осушение болота, добыча на нем торфа, процессы дальнейшей эволюции нарушенных болотных комплексов приводят к существенным изменениям температурного режима и увеличению пространственно-временной неоднородности теплового поля.

Исследования проводились на северо-западном участке болота Оршинский Мох, расположенного в 30 км к северо-востоку от г. Твери. Болото расположено в пределах озерно-ледниковой равнины, сложено преимущественно верховым торфом, средней мощностью до освоения 2,5–3,6 м. Осушение болота и добыча торфа производились с начала 1950-х гг. и продолжаются в небольшом объеме до настоящего времени. Это привело к формированию различных природно-антропогенных комплексов. Для определения температуры поверхности были выбраны

4 типа природно-антропогенных комплексов и, для сравнения, естественный болотный комплекс (рис. 1):

1. Болотная геосистема представлена сосново-пушицево-сфагновым микроландшафтом, находящимся в окраинной части болота.
2. Осушенный участок болота с невыработанной торфяной залежью. После пожара 2010 г. находится в стадии восстановления растительного покрова. Поверхность зарастает мелким березняком, имеющим сомкнутость 40–60%, в напочвенном покрове развиты багульниково-пушицево-политриховые сообщества, не имеющие сплошного покрова.
3. Участок современной добычи не имеет растительного покрова, на поверхности – рыхлый слой верхового торфа.
4. Выработанный заболачивающийся участок имеет мозаичную структуру вследствие выгорания торфа и образования западин разных форм и размеров. В западинах развиваются политриховые и сфагновые мхи, в некоторых – тростниковые ассоциации, на более высоких участках – березовый подрост, кое-где сохранившиеся крупные деревья. В несомкнутом напочвенном покрове – кукушкин лен, иван-чай.
5. Выработанные затопленные поля добычи представлены водоемами небольшой глубины. По их краям развиты сообщества макрофитов.
6. Выработанные затопленные участки, покрытые сплавиной из осок, пушиц, сфагновых мхов.



Р и с. 1. Типы природных и природно-антропогенных комплексов:  
1 – ненарушенная болотная геосистема, 2 – осушенные, не выработанные участки, 3 – участки современной добычи, 4 – выработанные заболачивающиеся участки, 5 – выработанные затопленные участки, 6 – выработанные затопленные участки, покрытые сплавиной.

Для изучения теплового поля использовались данные дистанционного зондирования Земли с космического аппарата Landsat 8,

с минимальным облачным покрытием, отобранные для бесснежного времени 2018 года. Было использовано 7 снимков: 23.04.2018, 09.05.2018, 25.05.2018, 26.06.2018, 06.08.2018, 07.09.2018, 14.09.2018. Съемка производилась в сроки с 11 часов 34 минут до 11 часов 40 минут по московскому времени. Температура земной поверхности вычислялась на основе данных прошедших этап радиометрической и атмосферной коррекции. Вычисления были выполнены в свободно распространяемом программном обеспечении QGIS 3.4.3. Для проведения атмосферной коррекции спутниковых данных и дальнейших вычислений использовался модуль Semi-Automatic Classification Plugin.

Определение температуры поверхности (Т) производилось по формуле Artis и Carnahan [3].

$$T = \frac{T_B}{1 + (\lambda \frac{T_B}{C_2}) \ln(e)}, \text{ где}$$

$T_B$  – температура спектральной яркости излучения (К);

$\lambda$  – длина волны света,  $\lambda = 10,8 \mu\text{m}$  для 10-го канала Landsat-8;

$C_2 = h \cdot c / s = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{m K} = 14388 \mu\text{m K}$ ;

$e$  – коэффициент эмиссии.

Коэффициент эмиссии, характеризующий излучательную способность поверхности, в значительной мере влияет на значение температуры, поэтому, как показали исследования Giannini и др. [5], целесообразно определять его попиксельно на основе индекса NDVI. Нами был применен метод Sobrino [6], согласно которому коэффициент эмиссии определялся по формуле:

$$\epsilon = 0.004 \cdot P_v + 0.986$$

Показатель  $P_v$ , согласно Carlson и Ripley [4], рассчитывался по формуле:

$$P_v = \left[ \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right]^2$$

где  $NDVI_{\max} = 0.5$  и  $NDVI_{\min} = 0.2$ .

Для определения NDVI использовались красные и ближние инфракрасные области спектра:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

где  $\rho_{NIR}$  – отражение в ближней инфракрасной области спектра и  $\rho_{RED}$  – отражение в красной области спектра.

Полученные значения температуры переведены в значения по шкале Цельсия, и на их основе для каждой даты съемки вычислены модели теплового поля земной поверхности (рис. 2, 3).



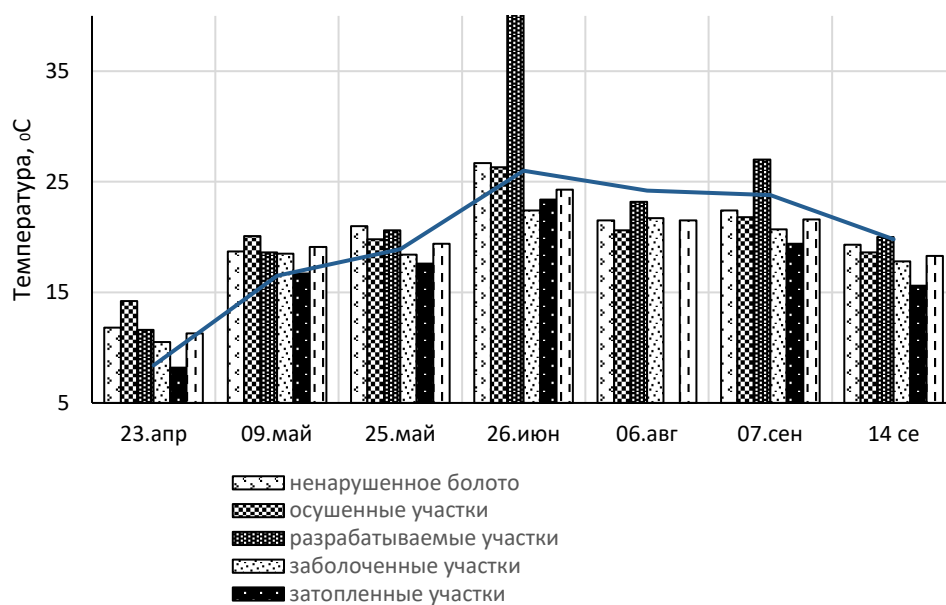
Р и с. 2. Тепловое поле 23.04.2018.

Светлые участки – более высокая температуры, темные – низкая.



Р и с. 3. Тепловое поле 7.09.2018.

На основе этих моделей были определены средние значения температуры для каждого из выбранных типов природно-антропогенных комплексов и для участка ненарушенного болота. Результаты сопоставлены со значениями температуры воздуха, определенными на Тверской метеостанции в срок наблюдения, близкий к моменту съемки со спутника, т.е. 12-00 часов (рис. 4).



Р и с. 4. Значения температуры земной поверхности в 2018 г. на болоте Оршинский Мох

Изучение пространственно-временной неоднородности теплового поля позволило выделить «теплые» природные и природно-антропогенные комплексы: ненарушенное сосново-пушицево-сфагновое болото, осушенные участки с невыработанной торфяной залежью и участки современной добычи торфа. «Холодные» – природно-антропогенные комплексы выработанных участков болота (затопленные и затопленные). Промежуточное положение занимают затопленные выработанные участки, покрытые сплавиной с развитым моховым покровом. Сезонный ход рассчитанной температуры поверхности в целом совпадает с ходом температуры воздуха на метеостанции в срок наблюдения, отличаясь от нее в среднем на +3 – -3 градуса. Наиболее значительные отклонения (до 14,3 градуса) характерны для перегретых полей добычи торфа.

Анализ изменения температуры в течение сезона показал, что быстрее всего, в апреле – начале мая, прогреваются осушенные участки с невыработанной торфяной залежью, дороги, полосы вдоль осушительных каналов. Очевидно, это связано с их меньшей увлажненностью и, соответственно, меньшей теплоемкостью. К концу мая повышается температура на ненарушенном участке болота и на участке торфоразработки. По-видимому, это связано с тем, что верхний слой сфагнового живого мха и очеса подсыхают и начинают быстрее

нагреваться. При этом перенос тепла вглубь затруднен вследствие низкой теплопроводности очеса [2], поэтому происходит перегрев поверхности. На участке добычи, где верхний слой торфа взрыхлен (по технологии фрезерного способа разработки торфа), теплопроводность также очень мала, а темная поверхность торфа имеет низкую отражательную способность и хорошо поглощает солнечное излучение. Вследствие этого поверхность фрезерных полей добычи нагревается до 35–40 °С. Осушенные, зарастающие березняком участки имеют в это время меньшую температуру, т.к. часть энергии тратится на транспирацию. Кроме того, по мнению Ю.Г. Пузаченко и др. [1], температура над пологом леса занижается по измерениям Landsat из-за содержания в приземном слое воздуха большого количества водяного пара, поглощающего часть излученной длинноволновой радиации. По мере снижения инсоляции, в августе – сентябре, тепловой поток от поверхности снижается, и температура не достигает таких высоких значений, как в июне. Заболоченные и затопленные природно-антропогенные комплексы подпитываются в течение всего времени грунтовыми водами и остаются наиболее теплоемкими, поэтому холодными. Температурный режим затопленных фрезерных полей, поверхность которых покрыта сплавиной с моховым покровом, определяется, с одной стороны, высокой теплоемкостью водной массы, с другой, – теплоизолирующими свойствами мохового покрова и очеса. Появление сплавины является индикатором начавшегося процесса восстановления функций болотной геосистемы, а температурный режим приближается к режиму ненарушенного болота.

**Выводы.** Тепловое поле нарушенного участка болота имеет существенную пространственно-временную неоднородность. Наибольшее отклонение от естественного температурного режима характерно для участка современной добычи торфа, на котором перегрев поверхности может приводить к повышению температуры до 35–40 °С, что значительно превышает температуру поверхности ненарушенного болота. «Теплыми» являются осушенные участки с невыработанной торфяной залежью и поля добычи торфа, «холодными» – заболоченные и затопленные природно-антропогенные комплексы. Неоднородность теплового поля зависит от ряда факторов: 1) содержание влаги в торфяной почве и моховом покрове определяет их теплоемкость; 2) очес (моховый покров) и рыхлый торф имеют низкую теплопроводность, что может приводить к перегреву поверхности; 3) наличие древесного яруса с развитой листовой массой снижает температуру вследствие затрат тепла на транспирацию. Развитие сплавины на поверхности затопленных выработанных участков приводит к повышению температуры, фиксируемой Landsat.

### **Список литературы**

1. Пузаченко Ю.Г., Байбар А.С., Варлагин А.В., Кренке А.Н., Сандлерский Р.Б. Тепловое поле южно-таежного ландшафта Русской равнины // Известия РАН. Серия географическая. 2019. Вып. 2. С. 51–68.
2. Романов В.В. Гидрофизика болот. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1961.
3. Artis D.A., Carnahan W.H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas // Remote Sensing of Environment. 1982. V.12 (4). P. 313–329.
4. Carlson T. N., Ripley D. A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index // Remote Sensing of Environment. 1997. V.62 (3). P. 241–252.
5. Giannini M.B., Belfiore O.R., Parente C., Santamaria R. Land Surface Temperature from Landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2015. V. 8, No 3. P. 83–90.
6. Sobrino J. A., Jiménez-Muñoz J. C., Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5 // Remote Sensing of Environment. 2004. V.90 (4). P. 434–440.

## **SPATIAL-TEMPORAL HETEROGENEITY OF THE THERMAL FIELD OF THE DISTURBED PART OF ORSHINSKY MOSS ACCORDING TO THE LANDSAT SATELLITE**

**L.V. Muraveva**

Tver state University, Tver

Drainage of the swamp and peat extraction lead to an increase in the heterogeneity of the thermal field. This is due to changes in moisture content in the soil and moss cover, flooding certain areas, which affects the heat capacity. The development of the wood vegetation increases the heat consumption for evapotranspiration. Formation of the moss cover leads to an increase in temperature recorded by Landsat.

**Keywords:** *thermal field, swamp, peat extraction, Landsat.*

*Об авторе:*

МУРАВЬЕВА Любовь Валерьевна – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и экологии ТвГУ, e-mail: [lmuraviova@mail.ru](mailto:lmuraviova@mail.ru)