

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА
ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 553.97:550.837(470.331)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТ ПО ВТОРИЧНОМУ ОБВОДНЕНИЮ
ТОРФЯНИКОВ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2020 г. Т. В. Орлов^{1,*}, К. Л. Шахматов^{2,**}

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., д. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

² Тверской государственный технический университет (ТвГТУ), наб. Аф. Никитина, 22, Тверь, 170026 Россия

*E-mail: tim.orlov@gmail.com

**E-mail: krl81@list.ru

Поступила в редакцию 15.07.2020 г.

После доработки 12.08.2020 г.

Принята к публикации 12.08.2020 г.

В центральной части России сохранилось огромное количество осушенных торфяных болот, оказывающих негативное влияние на экологию и пожарную безопасность. С 2010 г. начался проект по вторичному обводнению торфяников. Этот процесс довольно длительный, но уже сейчас можно оценить некоторые его результаты. К основным способам оценки относятся методы дистанционного зондирования – анализ спутниковых снимков и малых беспилотных летательных аппаратов. Цель данной работы – сопоставление разных методов дистанционного зондирования земли для анализа динамики поверхностного покрова вторично обводненных торфяников. Объектом исследования является ранее разрабатывавшееся верховое болото Оршинский мох Тверской области. Источники информации – 7 спутников, в том числе Corona, Landsat 1-5, 7, 8, Sentinel и др., а также квадрокоптер DJI Phantom 4. Анализ данных проводился с 1970-х годов, когда велась добыча торфа, и до 2019 г. после 5 лет реализации проекта вторичного обводнения. Оценивалась фактическая ситуация на всех гидротехнических сооружениях и рядом с ними. Также для оценки динамики растительности использовался индекс NDVI. Результаты показали увеличение участков с новой растительностью с 2016 г. на 15.6%, а площадь, занятая открытой водой, увеличилась на 3.5% исследуемой территории. Это также коррелирует с фактическим снижением количества очагов пожаров с 600 до полного их отсутствия.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, торфяное болото, вторичное обводнение, мониторинг, пожароопасность

DOI: 10.31857/S0869780920060089

ВВЕДЕНИЕ

На территории центральной части Российской Федерации сохранилось огромное количество торфяных месторождений, осушенных в период широкомасштабной добычи торфа в XX в. В целом, на территории Центрального и Центрально-Черноземного экономических районов находится 18 594 торфяных болот. Торфяные ресурсы размещены на 13 801 торфяном месторождении и оцениваются в 4.7 млрд т [1]. Площадь, покрываемая торфяными месторождениями, оценивается примерно в 3.6 млн га. Добыча торфа велась на небольшой части этих месторождений, и на сегодняшний день площадь выработанных торфяников в Центральной России составляет около 630 тыс. га. Из них используются только 20–30% от всех площадей [3]. Остальные торфяники сохраняют следы деятельности человека и негатив-

но влияют на экологию целых регионов, что проявляется в выбросах парниковых газов, а также регулярно возникающих здесь пожарах [5]. Начиная с 2010–2011 гг. в центральной России начался проект обводнения болот в Московской обл. (обводнено около 70 тыс. га) и по вторичному обводнению нарушенных торфяников (PeatRUS), который реализуется пока в 8 регионах, и на сегодня обводнено около 85 тыс. га осушенных территорий. Реализация проектов до полного обводнения всей площади участков в зависимости от условий требует значительного времени – от 5 до 20 лет. И, тем не менее, сейчас можно оценить некоторые первичные результаты и при необходимости внести коррективы, а также разработать рекомендации для будущих проектов. Принимая во внимание те факты, что средняя площадь объектов вторичного обводнения составляет от 1 тыс. га и их территории имеют сложную проходимость,

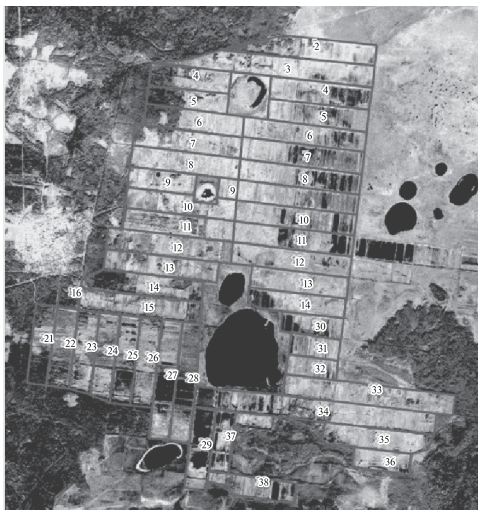


Рис. 1. Объект исследования — ЮЗ часть болота Оршинский мох (цифрами указаны номера фрезерных полей).

используются космический мониторинг для получения площадной картины поверхности, а также малые беспилотные летательные аппараты (дроны) для контроля локальных участков.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Основная цель данного исследования — сопоставление результатов использования разных методов дистанционного зондирования Земли для анализа динамики поверхностного покрова вторично обводненных торфяников, как одного из главных показателей качества реализованных проектов.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Дистанционные средства широко используются для контроля обводнения торфяников. Космическая съемка применяется для оценки состояния ранее разрабатываемых торфяников [2]. Используются сочетания разных каналов съемки для выявления особенностей гидрологии болот [10], контроля возникновения пожаров [12]. Проблема поиска и детектирования дренажных каналов обсуждается во многих источниках, например, [6, 7]. Используются высокодетальная съемка и объектное выделение дренажных каналов на основе высокодетальной космической съемки [8]. Естественно высокодетальные космические снимки применяют и для картографирования болот [13]. Начинают привлекать и беспилотные летательные аппараты для специализированных текстурных классификаций [11].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разрабатываемый подход демонстрируется на примере торфяного месторождения Оршинский

мох. Это верховое болото, расположенное в 25 км севернее от г. Тверь, занимает площадь около 65 тыс. га в нулевых границах. Большая часть болота является особо охраняемой природной территорией. Широкомасштабная добыча торфа здесь велась в юго-западной и западной частях с начала XX в. и до 1980-х годов. В небольшой степени добыча торфа сохраняется и сегодня. Тем не менее, основные территории представляют собой технологические карты, оставшиеся после фрезерного способа добычи торфа, с сохранившейся и частично функционирующей осушительной сетью. Этот объект был обводнен одним из первых, так как здесь наблюдались значительные пожары с начала столетия. Проект обводнения реализовывался в несколько этапов начиная с 2014 г. и затрагивал разные нарушенные части. Теперь это единая территория площадью 5400 га (рис. 1) [4].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основной спутниковой информации использовались следующие данные:

- Corona (2 м/пикс) — исторические сведения 1960–1970 гг.;
- Landsat 1–5 (30 м/пикс) — данные за период 1985–2012 гг.;
- Landsat 7 (15 м/пикс) — данные за период 1999–2003 гг.;
- Landsat 8 (15 м/пикс) — данные после 2013 г.;
- Sentinel 2A (10 м/пикс) — данные после 2015 г.;
- Planet (3 м/пикс) — данные после 2016 г.;
- Коммерческие снимки высокого разрешения (0,5 м/пикс) — с 2000 г.;
- Дрон DJI Phantom 4 (2 см/пикс) — с 2017 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Спутниковые данные на рассматриваемую территорию удалось найти с 1970 г., когда здесь велась активная добыча торфа фрезерным способом. Динамика изменения характера поверхности представлена на рис. 2. На снимке (рис. 2а) в видимой части спектра видны открытые фрезерные поля без какой бы то ни было растительности. Добыча торфа прекращалась неравномерно, по мере истощения слоя торфа. Это была западная часть участка, наиболее близко расположенная к нулевой границе. И уже по состоянию на 2000 г. здесь наблюдалась лесная растительность — береза, сосна, ель, высотой до 10 м. На участках добычи, где работы продолжались до конца 1980-х годов (восточная и южная части), сохранилась открытая поверхность торфа, представляющая повышенную пожарную опасность.

Сравнивая разрешение разных источников, можно выстроить иерархию, представленную на рис. 3.

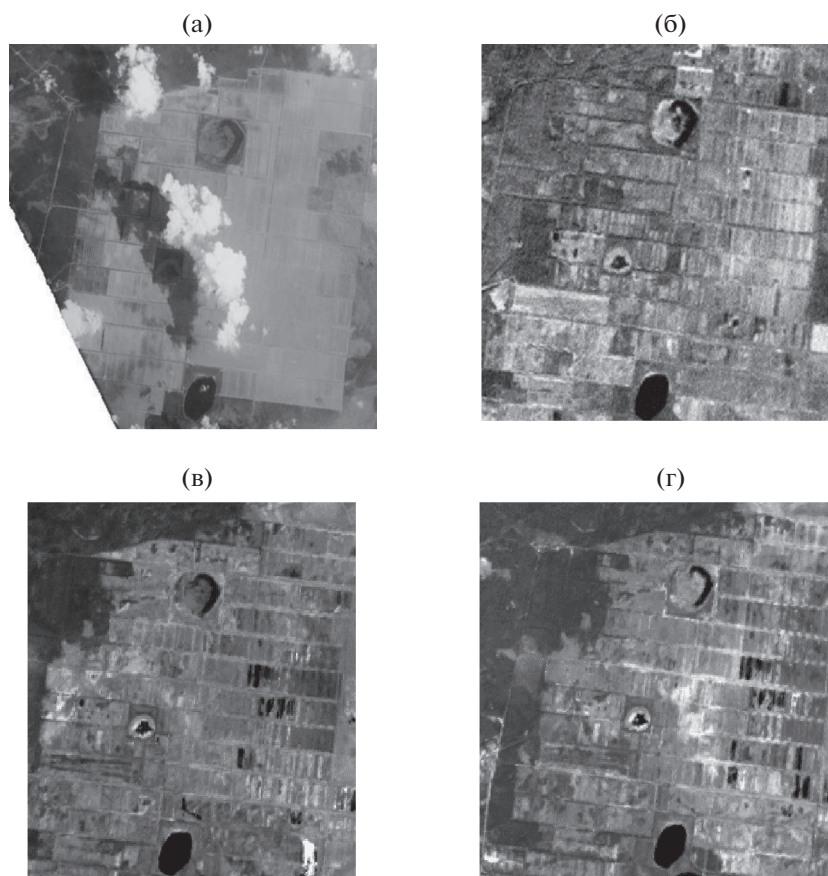


Рис. 2. Динамика поверхности участков добычи торфа на т/м Оршинский мох: а – активная добыча торфа (26.07.1970), б – заброшенные торфяные поля до обводнения (29.09.2000), в – реализация проекта обводнения (26.07.2014), г – современное состояние (13.06.2019).

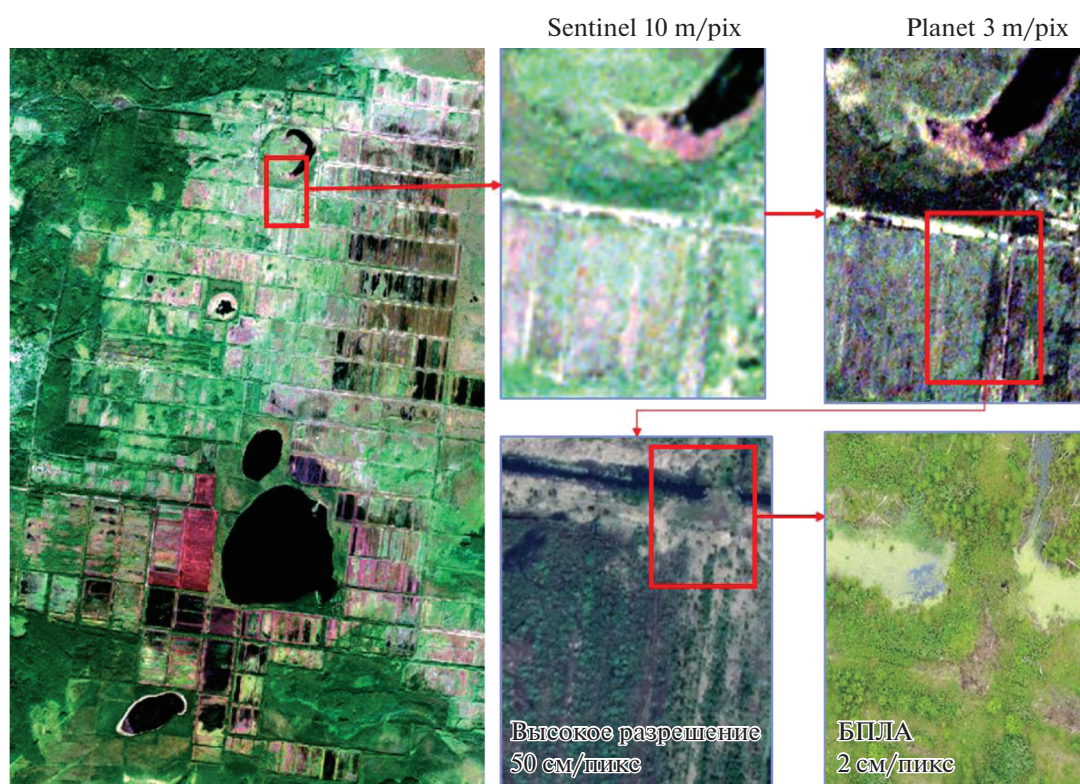


Рис. 3. Сравнение разрешений различных источников дистанционного зондирования.

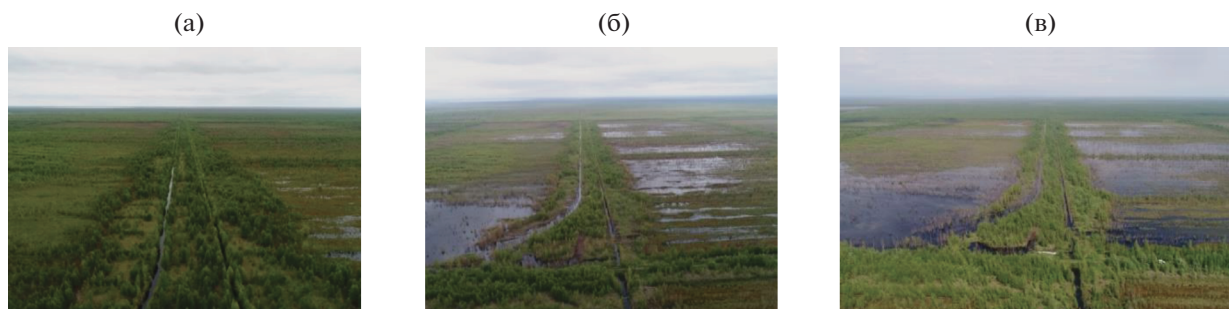


Рис. 4. Динамика изменения поверхности вблизи грунтовой дамбы: а – август 2018 г., б – июнь 2019 г., в – июнь 2020 г.

На рассматриваемой территории было выделено четыре мониторинговых площадки 100×100 м для детального анализа изменений и сбора как полевых данных (гидрологических, ботанических, основных свойств торфа и др.), так и дистанционного зондирования. Площадки приурочены к проектам, реализованным в разное время, что позволяет оценить процесс вторичного обводнения и восстановления болотных экосистем на разных этапах.

Следует отметить, что беспилотники дают возможность следить за ситуацией на конкретных мониторинговых точках. Этими точками могут быть и характерные участки на обводненной территории. Съемка в идентичные периоды времени позволяет выявить общую тенденцию, а также отслеживать состояние отдельных гидротехнических сооружений, выполняющих наиболее важные функции. На рис. 4 представлена динамика ситуации вблизи грунтовых перемычек за двухлетний период – до проекта обводнения (август 2018 г.), через год (2019 г.) и через 2 года после его реализации (2020 г.).

Площадки располагаются на территории разных типов растительных сообществ, что позволяет изучать изменения на каждом из них (рис. 5).

Беспилотные летательные аппараты малой высоты (БПЛА) – дроны, позволяют получать качественное изображение поверхности с разрешением 2 см/пикс. Для примера на рис. 6 приведены снимки площадки 1 и 2 в разные сезоны года.

Общее изменение в характере растительности можно оценить с помощью индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – количественный показатель фотосинтетически активной биомассы. На рис. 7 приведены значения индекса NDVI, полученного на основе съемки Landsat/Sentinel для тестового участка. Желто-красными оттенками показаны зоны с редкой растительностью или без нее, зелеными – участки с густой и здоровой растительностью. Изменение индекса показывает наличие сезонной динамики и определенное увеличение густоты растительности к 2015 г.

Было проведено картирование новой растительности на основании снимков PlanetScope с разрешением 3 м/пикс. С помощью индекса NDVI, рассчитанного по снимкам PlanetScope (2016–2019 гг.), проанализирована площадь водного зеркала (рис. 8). Синим цветом на рис. 8 представлена площадь нового водного зеркала, появившегося в период 2016–2019 гг., зеленым – участки новой растительности, большинство из них появилось в наиболее сухой части рассматриваемой территории, что свидетельствует об изменении уровня болотных вод. Данный уровень на торфяниках не имеет горизонтальную поверхность и может существенно меняться в зависимости от множества факторов – рельефа дна и искусственной поверхности торфяных полей, плотности и степени разложения торфа, которые также определяются существующим рельефом поверхности.

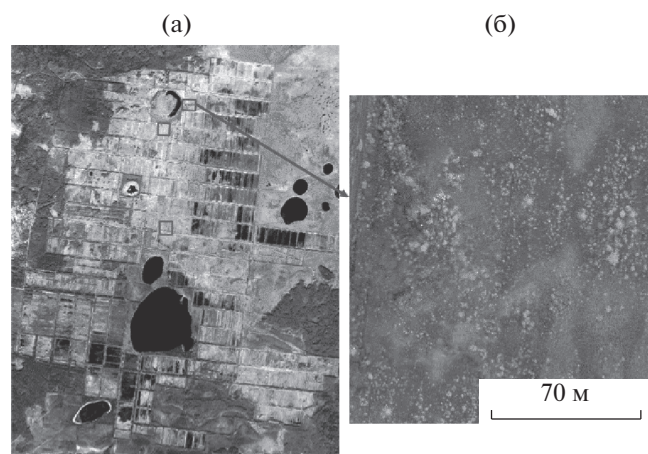


Рис. 5. Мониторинговые площадки на т/м Оршинский мох.

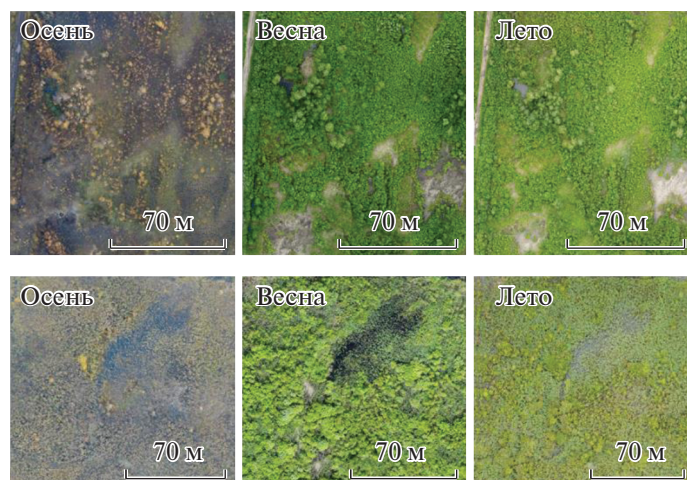


Рис. 6. Динамика изменения растительности на участках 1 и 2 (снимок с дрона).

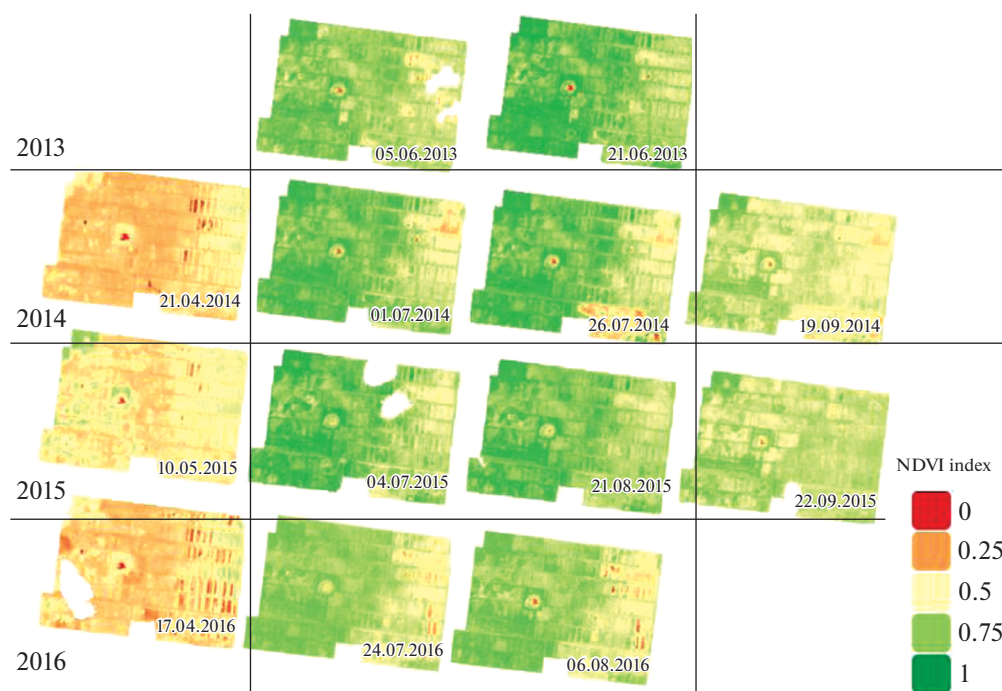


Рис. 7. Динамика растительности на объекте исследования.

Анализ высокодетальных данных PlanetScore показывает увеличение участков с новой растительностью с 2016 г. на 15.6%, а площадь, занятая открытой водой, увеличилась на 3.5% исследуемой территории. С помощью БПЛА было установлено, что большая часть новой растительности приурочена к сильно обводненным участкам и является влаголюбивой. Таким образом, можно констатировать снижение пожароопасной площади как минимум на 19% за трехлетний период.

Согласно данным NASA FIRMS [9], самое большое количество пожаров на рассматриваемом участке торфяника было зарегистрировано в период 2002–2008 г. – 700 очагов за 8 лет (рис. 9). В следующий период количество пожаров немногим стало меньше, что можно связать с естественными процессами повторного заболачивания в следствии естественного засорения осушительной сети и уменьшения стока с участка. Тем не менее, было отмечено около 600 очагов. Самые

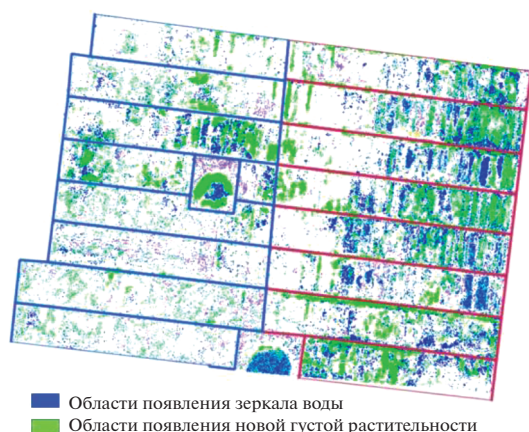


Рис. 8. Результаты обводнения.

значительные пожары фиксировались здесь в 2008, 2010 и 2012 гг.

Рассматриваемый участок – часть верхового болота, основным источником водного питания которого являются атмосферные осадки. Согласно данным Росгидромета, годовое количество осадков в 2008 и 2012 гг. относительно других лет наблюдений было значительно выше (рис. 10). И, тем не менее, пожары возникали. В эти годы отмечалось не только большое количество очагов возгораний, но и значительные площади распространения огня. После 2014 г. годовое количество осадков стало меньше, но при этом очагов пожаров не было отмечено. Достаточно очевидно, что основой причиной пожаров является человеческий фактор. И в любом случае никакой объект не застрахован от новых возгораний. Но весомым является тот факт, что даже при возникновении очага пожара и при высокой влажности поверхностного слоя торфа, распространение такого пожара невозможно на большие площади.

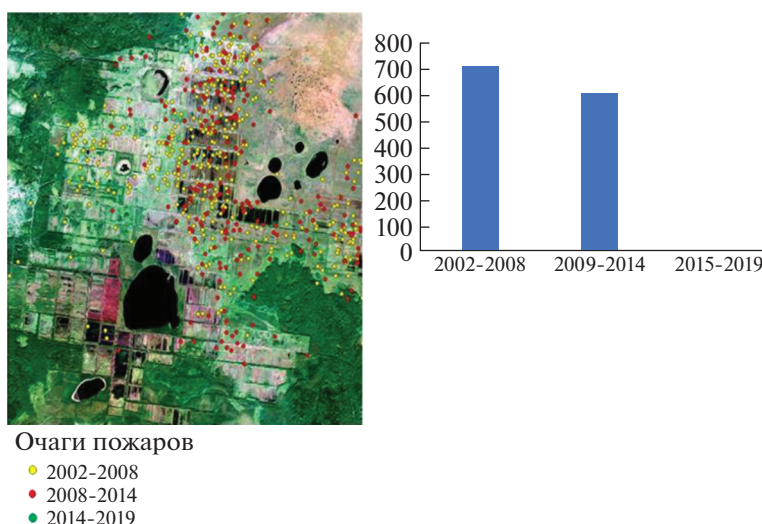


Рис. 9. Динамика появления очагов пожаров на участке.

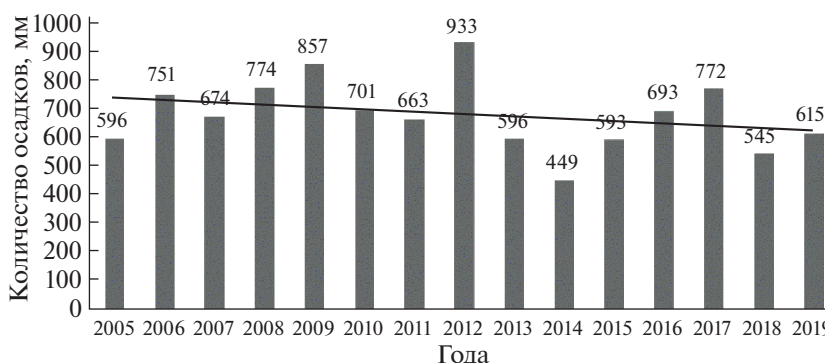


Рис. 10. Годовое количество осадков в период 2005–2019 гг.

Проект вторичного обводнения был реализован в 2014 г. Более того, Министерством лесного хозяйства Тверской обл. также проводится ряд мероприятий по недопущению и раннему предотвращению торфяных пожаров. И в результате всех проведенных мероприятий после 2015 г. очагов возгорания на данном участке торфяного месторождения не было зафиксировано.

ВЫВОДЫ

1. Данные дистанционного зондирования могут быть использованы для высоко эффективного мониторинга восстановления торфяников.

2. Использование иерархически организованных данных позволяет улучшить результаты наблюдений.

3. Данные с разрешением 3 м/пикс дают более детальные результаты.

4. Анализ динамики поверхностного покрова т/м Оршинский мох выявил несколько эффектов:

– значительное уменьшение торфяных пожаров (после 2015 г. пожары не были зарегистрированы);

– увеличение новых зон с открытой водой на 3.5% от исследуемой территории;

– увеличение новых районов с влаголюбивой растительностью на 15.6% от исследуемой территории.

ПЕРСПЕКТИВЫ

1. Следует разработать детальный метод картирования растительности на ключевых участках с помощью беспилотных летательных аппаратов (дронов).

2. Мониторинг с помощью дистанционного зондирования должен быть продолжен на т/м Оршинский мох и на других торфяниках, где были реализованы проекты вторичного обводнения.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Данная работа была выполнена в рамках реализации проекта “Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата”, финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, и ядерной безопасности Федеративной Республики Германия и управляемого через Германский банк развития KfW, в сотрудничестве с Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации и правительством Тверской области, а также за счет государственного задания ИГЭ РАН по теме НИР № г.р. АААА-А19-119022190077-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Женихов Ю.Н.* Пожароопасные торфяные месторождения Тверской области: монография / Ю.Н. Женихов, В.В. Панов, В.И. Суворов. Тверь: ТГТУ, 2011. 80 с.
2. *Медведева М.А., Возбранная А.Е., Барталев С.А., Сиринов А.А.* Оценка состояния заброшенных торфопереработок по многоспектральным спутниковым изображениям // Исследование Земли из космоса, 2011. № 5. С. 80–88.
3. Перспективное использование выработанных торфяных болот: монография / Под общ. ред. В.В. Панова. Тверь: ООО “Издательство “Триада”, 2013. 280 с.
4. Проект обводнения выработанного торфяного месторождения Оршинский мох Калининского района Тверской области на площади 1200 га. Отв. исп. В.В. Панов. Тверь, ИНСТОРФ. 2014 г. 159 с. URL: <https://russia.wetlands.org/ru/Проекты/Плотный-проект-по-обводнению-вырабо/> (дата обращения: 06.08.2020 г.)
5. *Сиринов А.А., Минаева Т.Ю., Возбранная А.Е., Барталев С.А.* Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. 2011. № 2. С. 13–21.
6. *Aitkenhead M., Poggio L., Donaldson-Selby G., Gimona A., Artz R.* Detection of peatland drainage with remote sensing – a scoping study. https://www.climatechange.org.uk/media/1489/detection_of_peatland_drainage_with_remote_sensing_a_scoping_study.pdf. The James Hutton Institute, May 2016
7. *Artz R., Donnelly D., Aitkenhead M., Poggio L., Donaldson-Selby G.* Comparison of remote sensing approaches for detection of peatland drainage in Scotland. https://www.climatechange.org.uk/media/1483/comparison_of_remote_sensing_approaches_for_detection_of_peatland_drainage_in_scotland.pdf, 2017
8. *Connolly J., Holden N.* Detecting peatland drains with Object Based Image Analysis and Geospatial imagery // Carbon Balance Manag. 2017; 12 (1): 7. <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0075-z>
9. Fire Information For Resource Management System (Firms). <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
10. *Harris A., Bryant R.* A multi-scale remote sensing approach for monitoring northern peatland hydrology: Present possibilities and future challenges // J. of Environmental Management, 2008 (90). P. 2178–2188. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.025>
11. *Knott, C., Klein, B., Prinz, T., Kleinebecker, T.* Unmanned aerial vehicles as innovative remote sensing platforms for high resolution infrared imagery to support restoration monitoring in cut over bog // Applied Vegetation Science. 2013 (16). <https://doi.org/10.1111/avsc.12024>
12. *Medvedeva M., Vozbrannaya A., Sirin A., Maslov A.* Capabilities of Multispectral Satellite Data in an Assess-

ment of the Status of Abandoned Fire Hazardous and Rewetting Peat Extraction Lands // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2017. № 53. P. 1072–1080.
<https://doi.org/10.1134/S0001433817090201>

13. *Sirin A., Maslov A., Valyaeva N., Tsyganova O., Glukhova T.* Mapping of peatlands in the Moscow oblast based on high-resolution remote sensing data // *Contemporary Problems of Ecology*, 2015. № 7. P. 808–814.
<https://doi.org/10.1134/S1995425514070117>

EFFICIENCY ANALYSIS OF REWETTING PEATBOGS IN TVER OBLAST ON THE BASIS OF REMOTE SENSING DATA

T. V. Orlov^{a,#} and K. L. Shakhmatov^{b,##}

^a *Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Ulanskii per. 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*

^b *Tver State Technological University, nab. Af. Nikitina 22, Tver, 170026 Russia*

[#]*E-mail: tim.orlov@gmail.com*

^{##}*E-mail: krl81@list.ru*

A huge number of drained peatbogs are preserved in the central part of Russia, which affect the environment and create a wildfire hazard. Peatbog rewetting project was launched in 2010. Rewetting is a rather long process, although some results may be already assessed now. The main assessment methods include remote sensing, i.e., the analysis of satellite images and those obtained from minor pilotless aerial vehicles. This research is aimed at the comparative use of different remote sensing methods in analyzing the vegetation dynamics on the surface of rewetted peatlands. The object of the study is the Orshinskiy mokh bog in Tver oblast, where peat was developed earlier. The information was obtained from 7 satellites, such as Corona, Landsat 1–5, 7, 8, Sentinel, etc., as well as quadrocopter DJI Phantom 4. The data were analyzed since 1970s, when peatbog was developed, and up to 2019, 5 years after the rewetting project started. The current situation was assessed at all hydraulic facilities. Also, the NDVI index was applied for assessing the dynamics of vegetation regrowth. As compared to 2016, the results showed a 15.6% increase in the areas with new vegetation and a 3.5% increase in the open-water area within the study territory. This also correlates with a decrease in the number of wildfire sources from 600 to zero.

Keywords: *remote sensing, peat bog, rewetting, wildfire hazard*

REFERENCES

- Zhenikhov, Yu.N. *Pozharoopasnye torfyanye mestorozhdeniya Tverskoi oblasti* [Fire-prone peatlands in Tver oblast]. Tver, TGTU Publ., 2011, 80 p. (in Russian)
- Medvedeva, M.A., Vozbrannaya, A.E., Bortalev, S.A., Sirin, A.A. *Otsenka sostoyaniya zabroshennykh torforazrabotok po mnogospektral'nym sputnikovym izobrazheniyam* [Assessment of the status of abandoned peatlands using multispectral satellite images]. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2011, no. 5, pp. 80–88. (in Russian)
- Panov, V.V. *Perspektivnoe ispol'zovanie vyrabotannykh torfyanykh bolot* [Prospective use of destroyed peatlands]. Tver, Triada Publ., 2013, 280 p. (in Russian)
- Panov, V.V. *Proekt obvodneniya vyrabotannogo torfyanogo mestorozhdeniya Orshinskii mokh Kalininskogo raiona Tverskoi oblasti na ploshhadi 1200 ga* [The project of rewetting the developed Orshinskii mokh peatland in the Kalinin raion, Tver oblast over an area of 1200 ha]. Tver, Instorf Publ., 2014, 159 p. (in Russian)
- Sirin, A.A., Minaeva, T.Yu., Vozbrannaya, A.E., Bortalev, S.A. *Kak izbezhat' torfyanykh pozharov?* [How to avoid peat fires?]. *Nauka v Rossii. Distantionnoe zondirovanie Zemli*. 2011, no. 2, pp. 13–21. (in Russian)
- Aitkenhead, M., Poggio, L., Donaldson-Selby, G., Gimona, A., and Artz R. Detection of peatland drainage with remote sensing – a scoping study. https://www.climatechange.org.uk/media/1489/detection_of_peatland_drainage_with_remote_sensing_a_scoping_study.pdf. The James Hutton Institute, May 2016.
- Artz, R., Donnelly, D., Aitkenhead, M., Poggio, L., and Donaldson-Selby G. Comparison of remote sensing approaches for detection of peatland drainage in Scotland. https://www.climatechange.org.uk/media/1483/comparison_of_remote_sensing_approaches_for_detection_of_peatland_drainage_in_scotland.pdf, 2017.
- Connolly, J., Holden, N. Detecting peatland drains with Object Based Image Analysis and Geoeye-1 imagery. *Carbon Balance Manag.*, 2017, no. 12 (1), p. 7. <https://www.10.1186/s13021-017-0075-z>
- Fire Information For Resource Management System (Firms). <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- Harris, A., Bryant, R. A multi-scale remote sensing approach for monitoring northern peatland hydrology: Present possibilities and future challenges. *Journal of*

- Environmental Management*, 2008, no. 90, pp. 2178–2188.
<https://www.10.1016/j.jenvman.2007.06.025>.
11. Knoth, C., Klein, B., Prinz, T., Kleinebecker, T. Unmanned aerial vehicles as innovative remote sensing platforms for high resolution infrared imagery to support restoration monitoring in cut over bog. *Applied Vegetation Science*, 2013, no. 16.
<https://www.10.1111/avsc.12024>.
 12. Medvedeva, M., Vozbrannaya, A., Sirin, A., Maslov, A., Capabilities of multispectral satellite data in an assessment of the status of abandoned fire hazardous and rewetting peat extraction lands. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2017, no. 53, pp. 1072–1080.
<https://www.10.1134/S0001433817090201>.
 13. Sirin, A., Maslov, A., Valyaeva, N., Tsyganova, O., Glukhova, T. Mapping of peatlands in the Moscow oblast based on high-resolution remote sensing data. *Contemporary problems of ecology*, 2015, no. 7. 808-814.
<https://www.10.1134/S1995425514070117>.