

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОДЫ В ОЗЕРЕ ЛУКОМСКОЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Ю. С. Давидович, Н. Ю. Суховило

*Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь,
seg98001@gmail.com, SukhoviloNY@bsu.by*

В работе рассматриваются вопросы использования данных тепловых космических измерений системы Landsat 8/9 OLI TIRS для оценки пространственного распределения температур поверхностного слоя воды в озере Лукомское. Данные материалов дистанционных съемок сопоставляются с наземными стационарными наблюдениями. Произведена оценка термического режима озера Лукомского в различные даты проведения наземных и авиакосмических наблюдений.

Ключевые слова: тепловая съемка; термический режим; озеро Лукомское; Landsat 8/9 OLI TIRS.

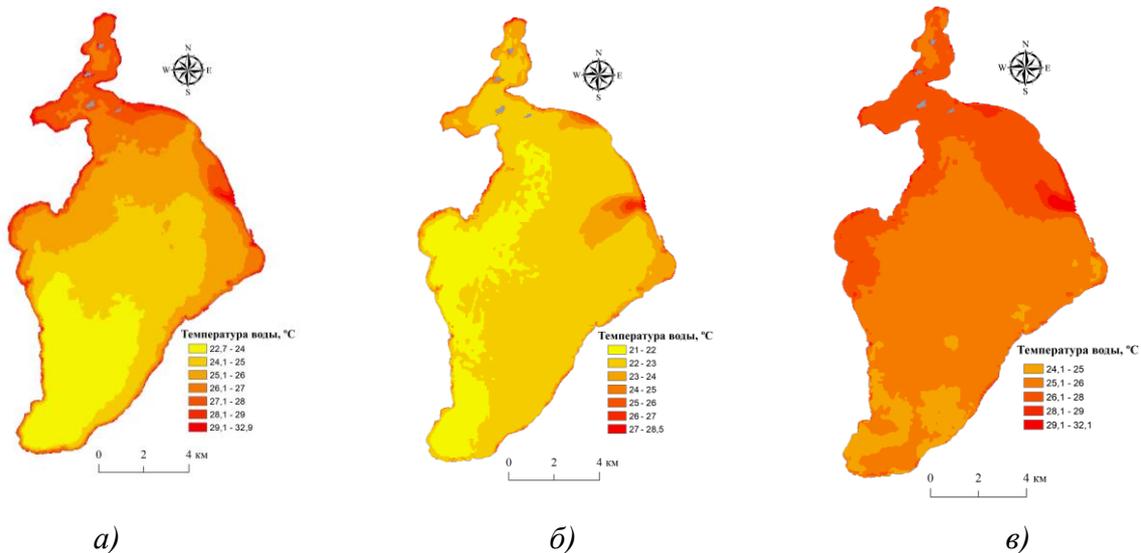
Введение. В настоящее время существует большое разнообразие съемочных систем, позволяющих получать аэрокосмические снимки в различных диапазонах электромагнитного спектра. Наиболее широкое применение в географических исследованиях получили космические снимки видимого диапазона, обладающие высокими изобразительными и информационными свойствами [2]. Тепловые снимки наиболее широко используются на глобальном уровне для исследования атмосферных явлений [3], температуры поверхности Мирового океана [5] и суши [7]. На региональном уровне тепловая съемка является эффективным средством для изучения вулканов [6]. Материалы дистанционных съемок различного диапазона применяются для оценки различных параметров состояния водных объектов: их мониторинга [1], оценки ледово-термического режима [8], определения границ и изучения процессов эвтрофикации [4].

Материалы и методы исследований. Озеро Лукомское расположено в чашникском районе Витебской области. Площадь водоема равна 37,7 км², максимальная глубина достигает 11,5 м, средняя – 6,6 м. Котловина озера подпрудного типа, вытянута с севера на юг на 10,4 км при средней ширине 3,5 км. С 1969 года озеро служит водоемом-охладителем тепловой электростанции Лукомльской ГРЭС – самой крупной тепловой электростанции в Беларуси. Это во многом определило его термический и гидробиологический режим.

Для изучения тепловых характеристик водной поверхности использовались данные о тепловом режиме озера Лукомское. Стационарные наблюдения за вертикальным распределением температур воды в озере Лукомское проводятся с 1977 г. До 2015 г. они проводились на двух рейдовых вертикалях, затем их количество сократилось до одной, приуроченной к открытой части водоема вблизи точки максимальной глубины [9]. Кроме того, на гидропосту ведутся наблюдения за температурой воды у берега.

Для более подробного анализа динамики потоков теплых вод были использованы мультиспектральные космические снимки системы Landsat8/9 OLI TIRS с пространственным разрешением 30 м. Предварительно данные прошли процедуры радиометрической и атмосферной коррекции. Даты были подобраны таким образом, чтобы облачность была невысокой (до 5 % акватории), а направление ветра различалось. Соблюдение этих условий позволяет более объективно оценивать распространение подогретых вод по акватории при различных метеоусловиях.

Результаты и их обсуждение. Пространственное распределение температур поверхностного слоя воды на акватории озера Лукомское в летний период 2024 г. отражено на рисунке. Выделяются 2 области с высокими температурами воды: у устья водоотводящего канала и в зоне сброса с Лукомльской ГРЭС. Утром 06.08.2024 в устье водоотводящего канала температура воды составила 28,0 °С, что на 4,8 °С выше, чем у поверхности воды в точке «контроля» и на 3,4 °С выше, чем в точке «подогрева».



Распределение температур поверхностного слоя воды на акватории озера Лукомское по данным Landsat 8/9 OLI TIRS:

a – 01.07.2024, *б* – 09.07.2024, *в* – 25.07.2024

В период полевых исследований 2024 г. площадь акватории с поверхностными температурами воды свыше 28,2 °С не превышала 1,5 км². У устья водоотводящего канала она отсутствовала. Область с температурами воды, превышающими фоновые, очень динамична, а ее площадь и локализация зависят от скорости и направления ветра. Сравнение данных натурных наблюдений 2024 г. с данными дистанционного зондирования Земли не представляется возможным по причине наличия облачности, препятствующей получению точных данных о температуре подстилающей поверхности.

01.07.2024 при южном и юго-восточном ветрах одна ее часть была локализована у берега вблизи электростанции, вторая распространялась узкой полосой на запад от устья водоотводящего канала, что отражено на рисунке 1, а. Максимальная температура воды у ГРЭС достигла 32,9 °С. Выделяется также хорошо прогретая литораль с температурами свыше 28 °С. В целом по акватории температуры воды увеличивались с юга на север с 22,7 до 27 °С. Средняя температура воды с учетом небольшой дымки, уменьшающей показания, составила 25,1 °С.

09.07.2024 ветер имел северное и северо-западное направление. Он вызвал субширотное распространение потока теплой воды, показанное на рисунке 1, б. Сами температуры воды были ниже на 1,4 – 4,4 °С, чем 1 июля (в среднем по акватории – 22,5 °С). Холодная область была расположена у западного берега озера.

25.07.2024 ветер дул с востока и юго-востока. В результате теплые воды смещались на северо-запад от электростанции и устья водоотводящего канала. Почти вся акватория озера была прогрета более, чем до 25 °С. Средняя по акватории температура составила 25,8 °С. Этому способствовали высокие дневные температуры воздуха 22–25.07.2024, достигавшие в метеорологической будке на метеостанции Лепель 27,6 °С. Над открытой акваторией озера этот показатель мог быть выше. Максимальная температура воды в водоеме составила 32,1 °С. Область с температурами воды 26 °С и более была смещена на север, на сгонном южном берегу отмечена зона апвеллинга с подъемом более холодных вод.

Площадь водной поверхности с теплыми водами колебалась от 2,89 км² при северо-западном ветре до 9,41 км² при восточном и юго-восточном ветре. Однако в последнем случае, как и в случае с южным и юго-восточным ветрами, когда площадь составила 7,53 км², прямое влияние работы ГРЭС на всю эту часть акватории доказать сложно, т. к. заливы в северной части озера из-за своей мелководности и более высокой биопродуктивности, обуславливающей низкую прозрачность воды, прогреваются лучше, чем открытая часть.

Заключение. Полученные результаты по исследованию использования тепловых снимков для изучения пространственного распределения температур поверхностного слоя воды в оз. Лукомское показали, что для изучения

свойств водной поверхности могут быть использованы не только данные дистанционного зондирования Земли оптического диапазона длин волн, но и теплового. Тепловые снимки среднего и относительно высокого пространственного разрешения могут использоваться при среднемасштабных исследованиях природных объектов. Для крупномасштабных исследований требуются тепловые снимки высокого и сверхвысокого разрешения.

Результаты исследований получены при выполнении НИР № 665/65, а также при частичной поддержке филиала «Лукомльская ГРЭС» РУП «Витебскэнерго» (НИР № 6549А).

Библиографические ссылки

1. *Абросимов А. В., Дворкие Б. А.* Возможности практического использования данных ДЗЗ из космоса для мониторинга водных объектов // Геоматика. 2009. № 4. С. 54–63.

2. *Давидович Ю. С., Шалькевич Ф. Е.* Использование тепловой съемки для изучения географических объектов // Актуальные проблемы геодезии, картографии, кадастра, геоинформационных технологий, рационального земле- и природопользования [Электронный ресурс]: электрон. сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 9–10 июня 2022 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; редкол.: канд. техн. наук Г.А. Шарогазова (отв. ред.) [и др.]. Новополоцк: Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2022. С. 25–28.

3. Детектирование и оценка балла облачности по данным атмосферных ИК-зондировщиков высокого разрешения / А. Н. Рублев [и др.] // Исследование Земли из космоса. 2004. № 3. С. 43–51.

4. Использование космических снимков для определения границ водоемов и изучения процессов эвтрофикации / Т. И. Кутявина [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 28–33.

5. Картирование температуры поверхности Мирового океана по данным геостационарных ИСЗ / В. И. Соловьев [и др.] // Исследование Земли из космоса. 2001. № 3. С. 10–15.

6. *Козлов Д. Н., Жарков Р. В.* Тепловизионная съемка активных вулканов Курильских островов в 2009–2011 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. Выпуск № 19, № 1. С. 231–239.

7. *Соловьев В. И., Успенский С. А.* Мониторинг температуры поверхности суши по данным геостационарных метеорологических спутников нового поколения // Исследование Земли из космоса. 2009. № 3. С. 79–89.

8. *Сутырина Е. Н.* Изучение особенностей ледово-термического режима озера Хубсугул с применением данных радиометра AVHRR // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 1. С. 190–199.

9. *Суховило Н. Ю.* Тепловой режим озера Лукомское в условиях климатических изменений и теплового загрязнения // Географія. 2023. № 1. С. 20–27.