

ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ «CWSI» QGIS ДЛЯ РАСЧЕТА ИНДЕКСА ВОДНОГО СТРЕССА РАСТЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА СПАССКОГО РАЙОНА РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В. В. Литвиненко¹⁾, И. Ю. Агеев²⁾, Г. В. Кручинин³⁾, С. К. Павлов⁴⁾

¹⁾Московский педагогический государственный университет (МПГУ),
ул. Малая Пироговская, 1, стр. 1, 119435, г. Москва, Россия,
email: vl.litv7@mail.ru

^{2),3),4)}Московский педагогический государственный университет (МПГУ),
ул. Малая Пироговская, 1, стр. 1, 119435, г. Москва, Россия

В статье приводятся результаты апробации применения модуля «CWSI» программы QGIS для расчета индекса водного стресса растений на основе данных ДЗЗ на примере участка Спасского района Рязанской области РФ. На основе снимков КА Landsat 9, производится расчет индекса CWSI, анализ полученных данных и сопоставление их с результатами наземных измерений, проведенных авторами в тот же период.

Ключевые слова: водный стресс растений; модуль «CWSI»; ДЗЗ; QGIS; Спасский район; Рязанская область; Россия; климатические факторы.

APPLICATION OF THE "CWSI" QGIS MODULE FOR CALCULATING THE INDEX OF WATER STRESS OF PLANTS ON THE EXAMPLE OF THE SITE OF THE SPASSKY DISTRICT OF THE RYAZAN REGION

V. V. Litvinenko¹⁾, I. Y. Ageev²⁾, G. V. Kruchinin³⁾, S. K. Pavlov⁴⁾

¹⁾ Moscow Pedagogical State University (MPGU), Malaya Pirogovskaya str., 1, building 1, 119435, Moscow, Russia, email: vl.litv7@mail.ru

^{2),3),4)} Moscow Pedagogical State University (MPGU), Malaya Pirogovskaya str., 1, building 1, 119435, Moscow, Russia

The article presents the results of testing the application of the "CWSI" module of the QGIS program for calculating the water stress index of plants based on remote sensing data, using the example of the site of the Spassky district of the Ryazan region of the Russian Federation. Based on the images of the Landsat 9 spacecraft, the CSI index is calculated, the data obtained is analyzed and compared with the results of ground measurements carried out by the authors in the same period.

Keywords: water stress of plants; CWSI module; remote sensing; QGIS; Spassky district; Ryazan region; Russia; climatic factors.

Известно, что в настоящее время климат планеты активно изменяется. В связи с этим в центральной части Европейской территории России (ЕТР)

второй год наблюдается аномально жаркий и сухой сентябрь, который практически сравнялся с летними месяцами по метеорологическим характеристикам. Во второй половине сентября, по данным Гидрометцентра РФ, во многих регионах ЕТР, в том числе и в Рязанской области наблюдалась атмосферная, а в некоторых районах и почвенная засуха, чему способствует и характер почв района – преобладающие песчаные и супесчаные почвы на водно-ледниковых и озерно-аллювиальных песках. Все это, безусловно, оказывает влияние на лимитирующие факторы среды обитаний растений, в том числе на обеспечение влагой и процессы транспирации. Оценка обеспеченности водой растений может быть представлена величиной индекса водного стресса растений (Crop Water Stress Index (CWSI)).

Целью работы является апробация модуля «CWSI» программы QGIS для расчета индекса водного стресса растений.

Для этого были поставлены следующие задачи:

- выбор экспериментального участка Спасского района;
- обработка сцен КА Landsat 9 для последующего расчета;
- расчет температуры дневной поверхности в градусах Цельсия;
- расчет индекса водного стресса в модуле «CWSI»;
- анализ полученных результатов и сопоставление их с наблюдаемыми условиями на территории.

Спасский муниципальный район, один из двадцати пяти муниципальных районов Рязанской области России, расположен к востоку – северо-востоку от областного центра г. Рязани. Площадь района составляет 268370 га. Протяженность района с севера на юг – 80 км, а с востока на запад – 50 километров. Административный центр района – г. Спасск-Рязанский (рис. 1).

Широтная протяженность и расположение его у границы двух природных зон отразились на характере природно-хозяйственного развития района. Характерной особенностью являются различия в специфике хозяйственного использования территории между северной и южной частями. Север района покрыт преимущественно лесами, имеет меньшую плотность населения и степень хозяйственного освоения. Помимо этого, в северной части частично расположены две крупные ООПТ – Окский государственный природный биосферный заповедник и Мещерский национальный парк, что также оказывает влияние на хозяйственную деятельность. Южная (и отчасти центральная) части района в большей степени хозяйственно освоены. Большие пространства отведены под поля и распаханые, здесь расположены наиболее крупные населенные пункты и основные сельскохозяйственные и промышленные предприятия района.

В связи с относительно большой протяженностью района с севера на юг (80 км) в нём закономерно изменяются метеорологические параметры, в том числе среднегодовое количество осадков, изменяющееся с 538 мм на севере до 468 мм на юге (по данным метеостанций, метеoarхива сайта ООО «Расписание погоды» [1]). Изучаемый экспериментальный участок площадью 62 км² расположен к западу-юго-западу от г. Спасска, на границе между Спасским и Рязанским районами. Данный участок был выбран авторами в связи с расположением на относительно компактной территории различных биоценозов, а также нескольких крупных сельскохозяйственных полей, находящихся в разной стадии обработки (см. рис.1).

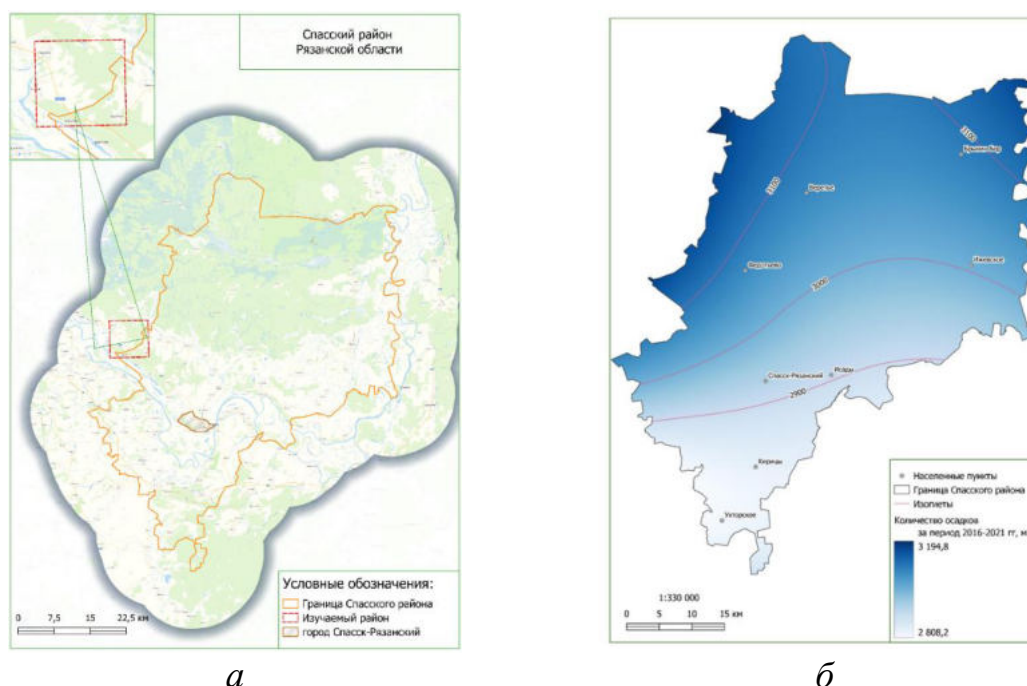


Рис. 1. Карта-схемы границы Спасского района и расположение относительно неё изучаемого участка – а, пространственное распределение количества осадков за период 6 лет, по данным метеoarхива – б. Географическая основа – «Яндекс карты». Составлено по: [2]

Водный стресс растений наблюдается в период атмосферной и/или почвенной засухи, когда растениям недостаточно воды, чтобы восстановить потери при транспирации. Кратковременный водный стресс приводит к потере влаги растением и, как следствие, к увяданию. Длительный стресс приводит к приостановке роста и в конечном счёте к гибели растения [2].

Индекс водного стресса растений CWSI (Crop Water Stress Index) рассчитывается по разнице между измеренной температурой растений и вычисленными возможными пределами температур, когда растительность полностью обеспечена водой и в случае полного отсутствия доступной влаги [2].

В качестве исходных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) были использованы снимки космического аппарата (далее КА) Landsat 9, размещенные в открытом доступе на сайте Геологической службы США [3], два из одиннадцати спектральных каналов (B10 и B11) КА регистрируют тепловое длинноволновое инфракрасное излучение планеты в диапазоне длин волн электромагнитного спектра 10,3–12,5 мкм (10300–12500 нм). Пространственное разрешение сцен в этих каналах составляет 100 м/пиксель. Время пролета спутника над изучаемой территорией – 11:16 Мск. Временная повторность съемки – 16 дней.

Для расчета индекса CWSI были выбраны две сцены (уровня обработки L1), полученные весной, 21 мая, и осенью, 26 сентября 2024 года, май был выбран в связи с высокой вегетационной активностью растений в этот период, а 26 сентября в связи максимумом засушливого периода, наблюдавшегося в Спасском районе, а также проведением там авторами полевых измерений, синхронизированных с прохождением КА Landsat 9 над изучаемой территорией. Все расчеты были проведены в программе QGIS. Пересчет температуры в °C был выполнен с использованием алгоритма, представленного в публикации [4].

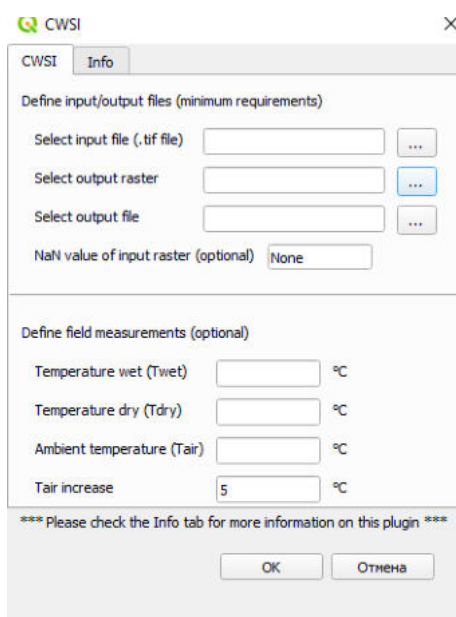


Рис. 2. Интерфейс модуля «CWSI».
Источник: [5]

Модуль «CWSI», предназначенный для расчета индекса водного стресса растений на основе снимков ДЗЗ и данных наземных измерений, разработал Florian Ellsäßer [5]. Текущая версия модуля в программе QGIS – 1.4., добавлена в репозиторий ГИС 15 февраля 2023 года. Интерфейс

программы, представленный на рисунке 2, состоит из двух частей – в первой части расположены настройки, связанные с указанием сцены космического снимка, на основе которого будет произведен расчет и определены пути вывода результатов расчета. Вторая часть служит для введения дополнительных данных наземных измерений и предназначена автором для повышения точности расчета индекса. Формула расчета индекса представлена в публикации [6].

На рисунке 3 представлен снимок КА Landsat 9 исследуемой территории, полученный 26 сентября 2024 года, в синтезе «искусственных» цветов (ближний инфракрасный, красный и зеленый каналы). Основной полигон наземных измерений обозначен цифрой 1.

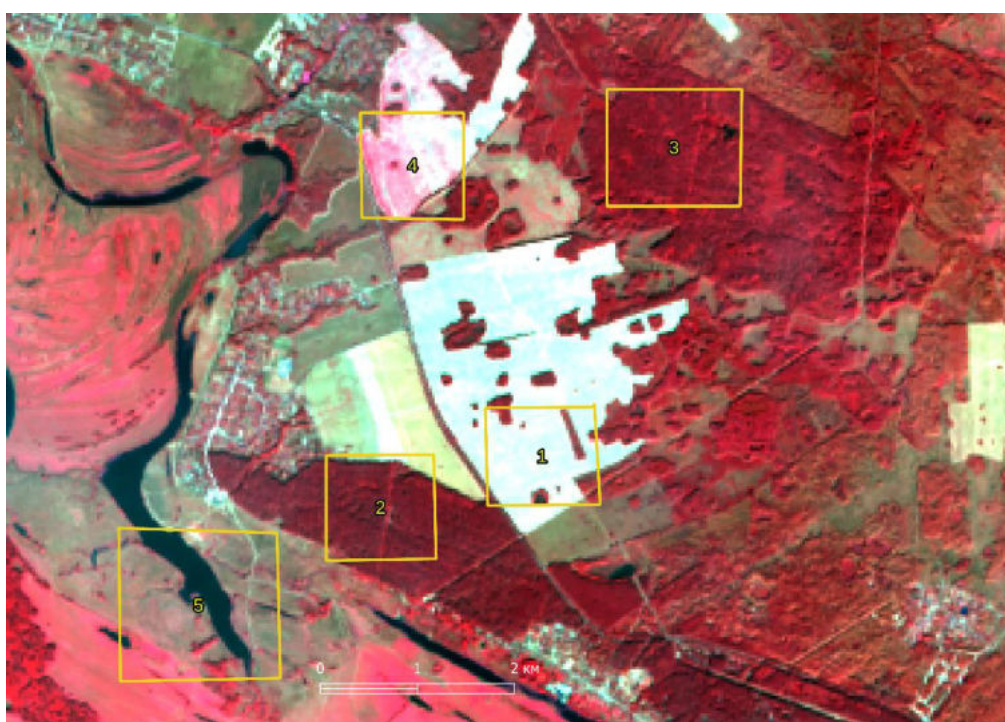


Рис. 3. Цветосинтезированный снимок Landsat 9 («искусственные» цвета) экспериментального участка, сентябрь 2024 г. Желтыми рамками и цифрами обозначены полигоны с основными биоценозами: 1 – открытая почва на пашне; 2 – участок хвойного леса; 3 – смешанный лес; 4 – посевы с/х культур; 5 – долина р. Ока со старичными озерами

Для расчета индекса водного стресса в вышеназванном модуле были использованы сцены снимков как без дополнительной обработки, так и с перерасчетом температуры в градусы Цельсия. На рисунке 4 представлена визуализация расчета температуры дневной поверхности изучаемого участка на период 21 мая и 26 сентября (в $^{\circ}\text{C}$), а ниже (рис. 5) – наземный тепловизионный снимок (длина волны 8–12 мкм) пашни (полигон 1), выполненный авторами 26 сентября 2024 года.

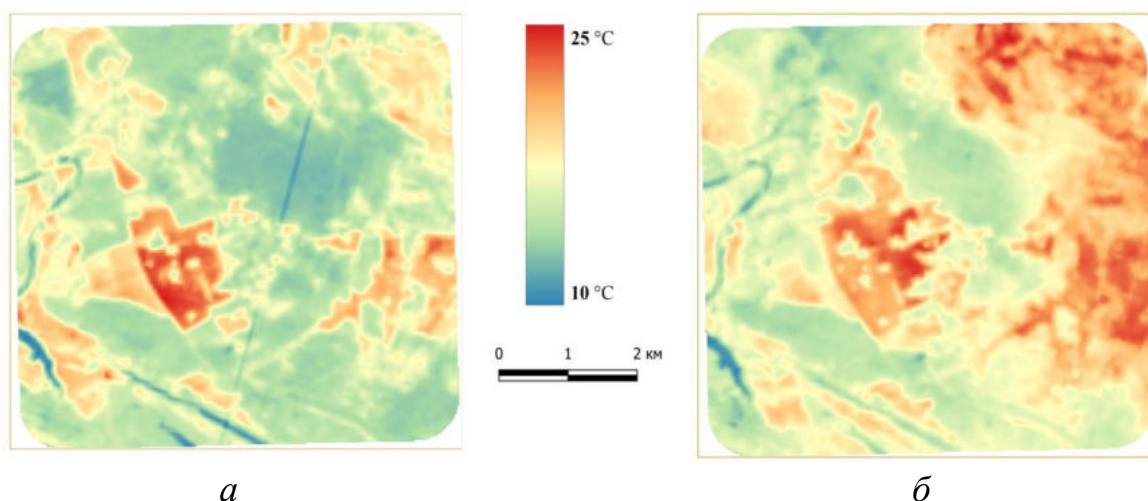


Рис. 4. Визуализация распределения температуры (°C) дневной поверхности по снимкам 21 мая (а) и 26 сентября (б)

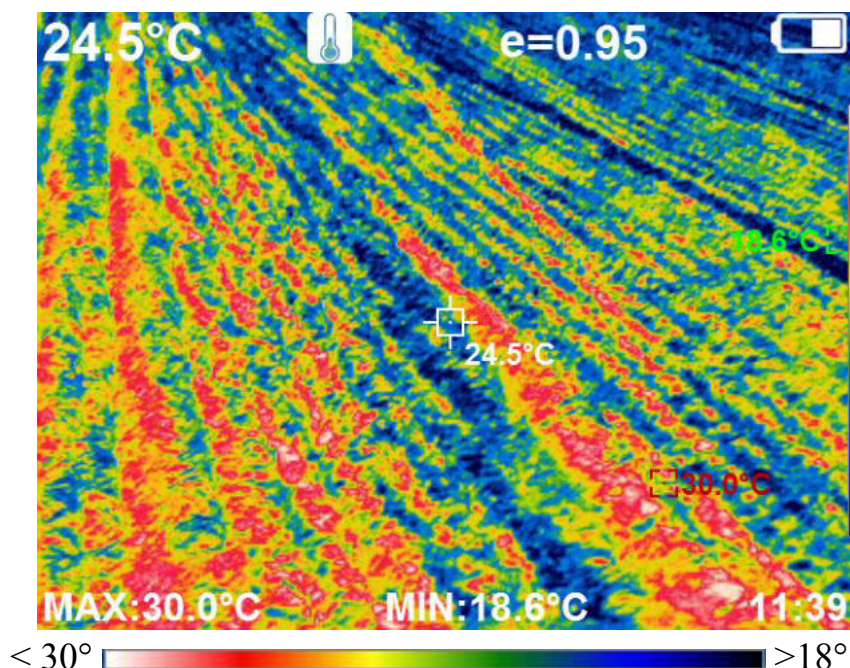


Рис. 5. Тепловизионный снимок участка пашни (полигон 1) изучаемого района. 26.09.2024

Расчет индекса в модуле прост, не требует много времени и ввода большого объема данных. На рисунке 6 показаны результаты расчета индекса для мая и сентября соответственно. Индекс CWSI может принимать значения от 1 до 0, где единице соответствует максимальный водный стресс растений, а нулю – его полное отсутствие. Сопоставление значений индекса с реально наблюдаемыми условиями на земле показало высокую корреляцию между ними.

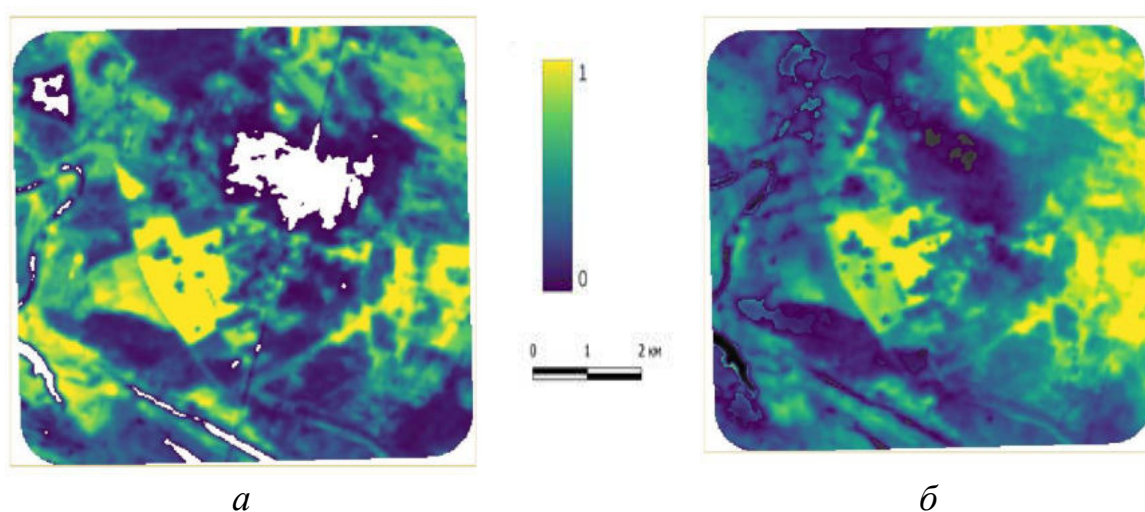


Рис. 6. Пространственное распределение рассчитанного индекса водного стресса растений 21 мая (а) и 26 сентября (б), канал 10

Путем сравнения было установлено, что результаты расчета индекса по каналам 10 и 11 КА Landsat 9 практически идентичны. Также не является обязательным перерасчет значений сцен космических снимков в градусы Цельсия. В последующем в программе QGIS по двум изображениям, представленным на рис. 6, была проведена фильтрация пикселей, соответствующая высокому индексу водного стресса (выше 0,5), и рассчитана площадь территории, соответствующая проекции этих пикселей на поверхность (табл. 1).

Таблица 1

Площадь территории, соответствующая индексу CWSI больше 0,5

	Дата снимка	Площадь, км ²	Процент от общей площади экспериментального участка
1	21.05.2024	39,08	63
2	26.09.2024	20,95	34

Для сравнения в таблице 2 приведены средние величины индекса по каждому из рассматриваемых полигонов (см. рис. 3).

Выводы:

1. Индекс водного стресса растений, рассчитанный в модуле «CWSI» на основе сцен космических снимков, в результате сопоставления с наблюдаемыми реальными условиями на изучаемой территории показывает, в целом, корректные значения и может быть рекомендован авторами статьи для практического применения в с/х.

2. Использование модуля значительно упрощает расчет индекса и позволяет производить расчет пользователям, незнакомым с подобными индексами.

Таблица 2

Средний индекс CWSI в полигонах

Номер полигона	Усредненная величина индекса CWSI	
	21 мая	26 сентября
1	0,9	0,8
2	0,09	0,04
3	0,02	0,06
4	0,4	0,25
5	0,1	0,02

3. Для использования модуля не обязательно производить пересчет температуры в градусы Цельсия.

4. Вместе с тем применение модуля для расчета индекса растений, произрастающих в естественных условиях, а также эффективность использования в нем данных наземных измерений температуры с целью повышения качества и точности расчета, по мнению авторов, потребует в будущем дополнительных исследований.

Библиографические ссылки

1. (ООО) "Расписание Погоды", метеоархив [Электронный ресурс]. URL: https://rp5.ru/Погода_в_мире (дата обращения: 25.11.2024).
2. Доброхотов А. В., Козырева Л. В. Определение поливной нормы посевов с использованием индекса CWSI // Орошаемое земледелие. 2022. № 2 (37). С. 64–67.
3. Сайт Геологической службы США [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 18.11.2024).
4. Esri CIS. Блоги «Космический термометр» [Электронный ресурс]. URL: <https://blogs.esri-cis.com/2014/08/15/remote-sensing-raster-calculator/> (дата обращения: 18.11.2024).
5. Ellsäßer F. QGIS3 CWSI Plugin version 1.2. 2021. [Electronic resource]. URL: <https://plugins.qgis.org/plugins/cwsi/> (date of access: 17.11.2024).
6. Jones H. G. Plants and microclimate, 2nd ed. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 1992. 396 p.