



Научная статья

УДК 339.54.012+338.001.36

doi: 10.55186/25876740_2024_67_4_487

СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЙ ИНДЕКС minNDTI КАК КРИТЕРИЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ХОЗЯЙСТВ ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПРЯМОЙ ПОСЕВ

Н.Р. Ермолаев¹, Р.Г. Гаджиумаров², С.А. Юдин¹, В.П. Белобров¹,
В.К. Дридигер², И.А. Надуткин¹, Д.А. Шаповалов³

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

²Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия

³Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

Аннотация. Приведен опыт по подбору данных для построения выборки minNDTI для выделения хозяйств использующих технологию прямого посева (no-till) в двух агроэкологических зонах Ставропольского края с разными агроклиматическими условиями. Ввиду ежегодного увеличения площадей, занятых ресурсосберегающими технологиями (в частности прямым посевом), разработка систем для выделения и учета является актуальной задачей для науки и производства. Растительные остатки, сохраняемые при прямом посеве, создают характерные свойства поверхности, которые можно использовать для выделения подобных хозяйств на основании данных ДЗЗ. Распространенным подходом для выделения хозяйств использующих прямой посев (ПП) является использование спектрального индекса NDTI и его мультитемпоральной производной — minNDTI. В рамках исследования были подобраны коллекции, стандартизованных за каждый год данных minNDTI с 2019 по 2023, характеризующие ПП и традиционную технологию двух агроклиматических зон: неустойчивого увлажнения и засушливую. Была проанализирована возможность использования порога значений вегетационного индекса NDVI для очистки выборок от данных соответствующих живой растительности, возможность использования двух временных диапазонов для построения набора данных minNDTI, возможность использования Landsat и Sentinel-2. Общее количество проанализированных выборок — 16. Оптимальным порогом для исключения живой растительности из выборок minNDTI является значения 0,3. При значении NDVI 0,2 происходит значительная потеря данных. Sentinel-2 позволяет использовать большее количество изображений, что способствует формированию более репрезентативных данных minNDTI. Стандартизованные данные minNDTI, полученные для засушливой зоны Ставропольского края, являются типичными за каждый год исследования, что дает основание полагать возможным использование представленных данных для выделения хозяйств, использующих прямой посев, за любой временной промежуток. Использование индекса minNDTI для выделения хозяйств применяющих технологию прямого посева, является наиболее оптимальным для регионов со схожими с засушливой зоной Ставропольского края агроклиматическими условиями.

Ключевые слова: прямой посев, ресурсосберегающее земледелие, дистанционное зондирование Земли, засушливая зона

Original article

STANDARDIZED MINNDTI INDEX AS A CRITERION FOR IDENTIFYING FARMS USING NO-TILL

N.R. Ermolaev¹, R.G. Gadzhumarov², S.A. Yudin¹, V.P. Belobrov¹,
V.K. Dridiger², A. Nadutkin¹, D.A. Shapovalov³

¹V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

²North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, Mikhaylovsk, Russia

³State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

Abstract. The experience of selecting data for constructing a minNDTI sample to identify farms using no-till in two agroecological zones of the Stavropol Territory with different agro-climatic conditions is presented. Due to the annual increase in the areas occupied by conservation technologies (in particular no-till), the development of systems for allocation and accounting is an urgent task for science and industry. The crop residues preserved during no-till create characteristic surface properties that can be used to isolate such farms based on remote sensing data. A common approach to identify farms using no-till (PP) is the use of the NDTI spectral index and its multitemporal derivative, minNDTI. As part of the study, collections of standardized minNDTI data for each year from 2019 to 2023 were selected, characterizing no-till and traditional technology for two agroclimatic zones: an unstable humidification and an arid. The possibility of using the threshold values of the NDVI vegetation index to clear samples from data corresponding to living vegetation, the possibility of using two time ranges to build the minNDTI dataset, the possibility of using Landsat and Sentinel-2 data was analyzed. The total number of analyzed samples — 16. The optimal threshold for excluding living vegetation from the minNDTI samples is 0.3. At NDVI 0.2, significant data loss occurs. The standardized minNDTI data obtained for the arid zone of the Stavropol Territory are typical for each year of the study, which gives reason to believe that it is possible to use the presented data to identify farms using no-till for any time period. The use of the minNDTI index to identify farms using no-till is optimal for regions with agro-climatic conditions similar to the Arid zone of the Stavropol Territory.

Keywords: no-till, conservation agriculture, remote sensing, google earth engine, arid zone

Введение. Ресурсосберегающие технологии, в частности технология прямого посева (в зарубежной литературе no-till), получили в последнее десятилетие широкое распространение в аграрных регионах Российской Федерации. За последние годы площадь занятая ресурсосберегающими технологиями достигла 2 млн га [1]. Данная оценка является условной, так как на государственном уровне учет хозяйств, использующих прямой посев и подоб-

ные технологии, не ведется. В этой связи, для задач государственного регулирования в области сельского хозяйства, необходима разработка и внедрение подходов к выделению подобных хозяйств и оценки правильности применения в них технологии.

Прямой посев имеет ряд принципиальных отличий от традиционных подходов к обработке. Одной из ключевых особенностей прямого посева является то, что при правильном

соблюдении технологии, поверхность почвы всегда находится укрытой или культурной растительностью во время вегетационного периода, или слоем из мульчи, которая сохраняется на поле после уборки. Сохраняемая мульча формирует специфический облик ландшафта и поверхности почвы. Растительные остатки имеют специфические отражательно-поглощительные свойства в разных диапазонах электромагнитного спектра. В исследованиях отмечается, что

за счет содержания лигнина и целлюлозы растительные остатки имеют характерные свойства в коротковолновом инфракрасном диапазоне спектра (SWIR) [2,3].

На основании данных особенностей был разработан ряд спектральных индексов, объединяемых под общим названием, индексы обработки (tillage index) для расчета которых используются мультиспектральные данные дистанционного зондирования Земли [4,5]. Одним из наиболее распространенных индексов является индекс NDTI — нормализованный дифференцированный индекс обработки [6], а также

для выделения хозяйств, использующих технологию прямого посева, применяется его мультимедийная модификация — индекс minNDTI [7]. Смысл индекса minNDTI заключается в том, что из массива данных NDTI, за определенный промежуток времени, для каждого пикселя интересующей территории отбираются минимальные значения. Так как при применении прямого посева в каждый момент времени поверхность почвы перекрыта слоем растительных остатков или живой растительности, в отличие от традиционных обработок при которых почва обнажается в ходе агротехнических мероприятий,

показатель minNDTI для прямого посева будет всегда выше. Необходимо так же отметить, что для корректного выделения полей, на которых применяется no-till, minNDTI необходимо получать за несколько лет, что связано со следующими обстоятельствами:

- 1) Влияние технологии прямого посева на параметры почвенного плодородия складывается минимум за 4 года правильного применения технологии прямого посева [8,9].
- 2) При применении классических обработок и ряда агротехнических приемов так же возможно сохранение растительных остатков, однако при прямом посеве растительные остатки должны сохраняться ежегодно [10].

Преимуществом индекса NDTI является так же то, что у наиболее распространенных платформ данных ДЗЗ, таких как Landsat и Sentinel, есть каналы SWIR-1 и SWIR-2, используемые для расчета данного индекса (табл. 1).

Наряду с плюсами, индекс NDTI имеет ряд существенных недостатков, которые могут накладывать ряд ограничений на его использование. На значения каналов SWIR существенное влияние оказывает живая растительность, а также влажность поверхности [11]. В ряде исследований, в которых упоминается индекс NDTI в ключе выделения хозяйств, использующих no-till, для исключения живой растительности из выборки используется маска живой растительности, построенная на основании данных NDVI > 0.3 [12,13]. Данный порог отсекается является условным, так как не существует строго разграничения живой и не живой растительности на основании вегетационных индексов. Для исключения влияния влажности на данные SWIR из общей выборки данных ДЗЗ исключаются изображения, соответствующие датам в которые на конкретной территории выпали осадки.

Целью данного исследования является анализ возможности использования данных minNDTI для определения факта использования хозяйствами прямого посева в разных по увлажнению агроклиматических условиях на примере Ставропольского края.

Объекты и методы. Согласно современному агроклиматическому районированию в Ставропольском крае выделяется 4 зоны, наиболее крупными из которых являются засушливая и зона неустойчивого увлажнения (рис. 1). Ключевые агроклиматические особенности зон представлены в таблице 2 [14]. В представленных макроклиматических регионах были подобраны хозяйства с традиционной для региона технологией и прямым посевом (рис. 2).

В Засушливой зоне (северо-западная подзона — IIa) расположены хозяйства ООО «Добровольное» ведущее производство по системе прямого посева с 2007 года, использующее посевной комплекс Case RPD (сеялку Georgia для узкорядных культур и сеялку Kinze для широкорядных культур), и СППК «Софиевский», применяющее традиционную для региона вспашку. В зоне неустойчивого увлажнения находятся хозяйства ООО «Красносельское» и ООО «Бешпагир».

В «Красносельском» применяется технология no-till начиная с 2008 года, используются посевные комплексы John Deere 1890 и Great plains. Во всех хозяйствах основными культурами являются озимая пшеница, горох, подсолнечник. Так же в плодосмен включаются

Таблица 1. Диапазоны каналов SWIR 1 и SWIR 2 платформ данных ДЗЗ Landsat и Sentinel-2
Table 1. SWIR 1 and SWIR 2 bands of data from Landsat and Sentinel-2 remote sensing platforms

Диапазон	Sentinel-2 диапазон спектра (нм)	Landsat-8 диапазон спектра (нм)
SWIR-1	1565-1655	1566-1651
SWIR-2	2100-2280	2107-2294

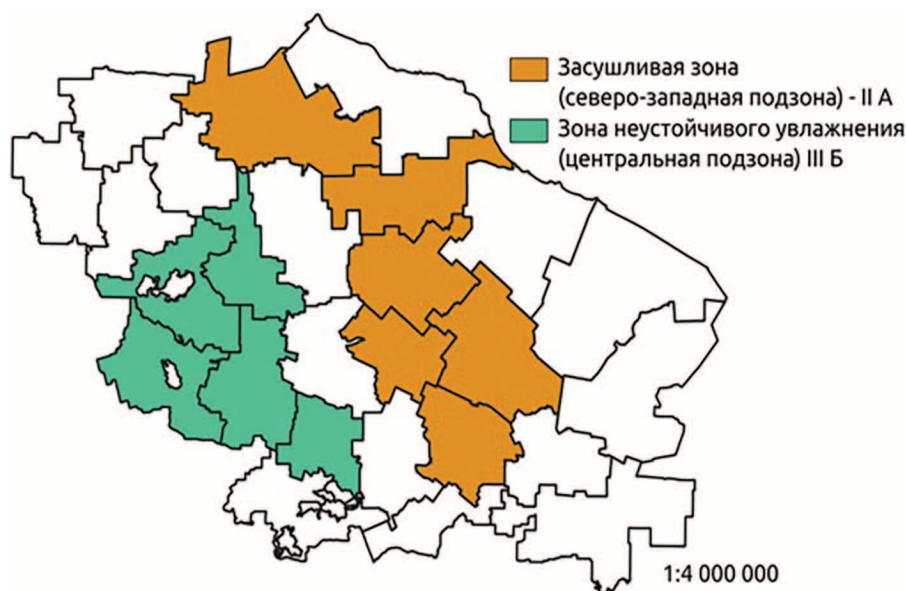


Рисунок 1. Зоны агроэкологического районирования Ставропольского края
Figure 1. Agroecological zoning of the Stavropol Territory

Таблица 2. Агроклиматические особенности IIa и IIIб зон Ставропольского края
Table 2. Agroclimatic features of zones IIa and IIIb of the Stavropol Territory

Показатель		Засушливая зона (северо-западная подзона — IIa)	Зона неустойчивого увлажнения (центральная подзона — IIIб)
Площадь пашни, га (поданным Росреестра за 2000)		1196069	605701
Преобладающий тип почв		Темно-каштановые — 38,2%	Черноземы обыкновенные — 62,0%
Температура	Годовая	10,7	9,7
	январь	-2,3	-2,3
	Июль	24,5	22,5
Осадки	Год	461	558
	Вегетационный период	324	410
Коэффициент увлажнения		0,21	0,30
Основной период вегетации	Начало	13,04	16,04
	Конец	18,10	16,10
Административно территориальные районы лежащие в пределах подзон		Ипатовский район, Туркменский район, Благодарненский район, Новоселицкий район, Буденновский район, Советский район	Грачевский район, Шпаковский район, Кочубеевский район, Андроповский район, Минераловодский район



нут, рапс и лен. В рамках исследования планировалось использовать набор гармонизированных данных Landsat и Sentinel-2 HLS30 [15], однако на данный момент в открытом доступе в коллекции HLS30 находятся только данные системы Landsat. Поскольку из-за различий в диапазоне каналов ЭМС сенсоров двух данных систем совместное использование некорректно, расчет показателя minNDTI осуществлялся для каждой платформы отдельно. На территорию представленных хозяйств были подобраны данные ДЗЗ систем Landsat (набор данных HLS/HLSL30 — гармонизованные данные Landsat 8/9) и Sentinel-2 (набор данных COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED — гармонизованные данные Sentinel 2 A/B) за 5 лет — с 2019 года по 2023 год, уровня коррекции surface reflectance (отражение поверхности).

Первичным критерием для отбора изображений в коллекции был процент покрытия облачностью не более 60%. На основании общепринятых алгоритмов из изображений исключались пиксели, соответствующие облакам и теням облаков. Так же осуществлялась временная фильтрация данных, использовались два варианта фильтра: 1) подбор данных за вегетационный сезон в каждый год, для каждой исследуемой агроклиматической зоны, 2) подбор данных с 1-го июля по 1-е октября каждого года. Выбор дат для второго варианта фильтрации данных по датам обусловлен сроками уборки в Ставропольском крае — в период с июля по октябрь в данном регионе происходит уборка как озимых, так и яровых культур и мы имеем большую вероятность получения данных характеризующих поля после уборки.

Для каждой полученной мозаики данных дистанционного зондирования земли рассчитывались индексы NDVI и NDTI. На основании значений индекса NDVI строилась маска для исключения живой растительности. В рамках представленного исследования было апробировано два порога для исключения живой растительности — значения NDVI — 0,3 и 0,2. Так же на основании данных CHIRPS Daily (климатический набор данных построенный на основании данных ДЗЗ и данных локальных метеостанций) были построены ежедневные маски осадков. Фильтрация осадков осуществлялась с шагом два дня: если согласно данным CHIRPS Daily в конкретный день выпадали осадки, маска территории осадков применялась на два дня последующих выпадению осадков. Финальным этапом обработки данных ДЗЗ было построение мультитемпературных данных minNDTI за каждый год для каждой платформы, временного фильтра и при двух порогах NDVI. Все варианты коллекций и количество мозаик на основании которых строились данные minNDTI представлены в табл. 3.

Поскольку распределение значений minNDTI отличается от нормального [16] для каждого поля исследуемых хозяйств, из полученных данных ДЗЗ была извлечена медиана. Для возможности сравнения данных minNDTI между собой по годам в рамках каждой выборки за каждый год значения, характеризующие прямой посев и традиционную обработку, стандартизировались путем приведения среднего по выборке за год к 0, а стандартного отклонения к 1. На итоговых значениях проводилось статистическое тестирование методом Краскел-уолиса (H-тест) [17].

Подбор и подготовка данных дистанционного зондирования Земли осуществлялись при помощи облачного сервиса Google earth engine [18]. Визуализация и статистическая обработка результатов осуществлялись при помощи языка программирования python в среде разработки Visual Studio Code. Достоверность полученных результатов подтверждена статистическими методами при р-уровне значимости — 0,05.

Результаты и обсуждение. Статистическое тестирование (табл. 4) показало, что вне зависимости от платформы данных, порогового значения для удаления растительности и периода, за который отбираются данные, значения minNDTI для прямого посева всегда статистически достоверно отличаются от значений для традиционной обработки. Кроме этого так же следует отметить, что выборки minNDTI платформ Landsat и Sentinel для прямого посева и традиционной обработки достоверно статистически

различаются между собой, что не позволяет использовать их совместно.

Значения minNDTI, при сравнении данных за 5 лет выборки традиционной технологии (ТТ) и ПП, всегда имеют статистически достоверные различия, что подтверждает возможность использования подобных данных для выделения хозяйств использующих прямой посев. Для зоны неустойчивого увлажнения (III а) не удалось подобрать стабильные данные за каждый год исследования, относящиеся к единой генеральной совокупности, характеризующие прямой посев и традиционную обработку. На наш взгляд, это можно связать с ограниченным набором данных из-за повышенной облачности в данной агроклиматической зоне. Выборки ПП и ТТ различаются между собой, однако выработать строгий критерий для разделения обработок на основании minNDTI, в силу приведенных обстоятельств, пока не представляется возможным.

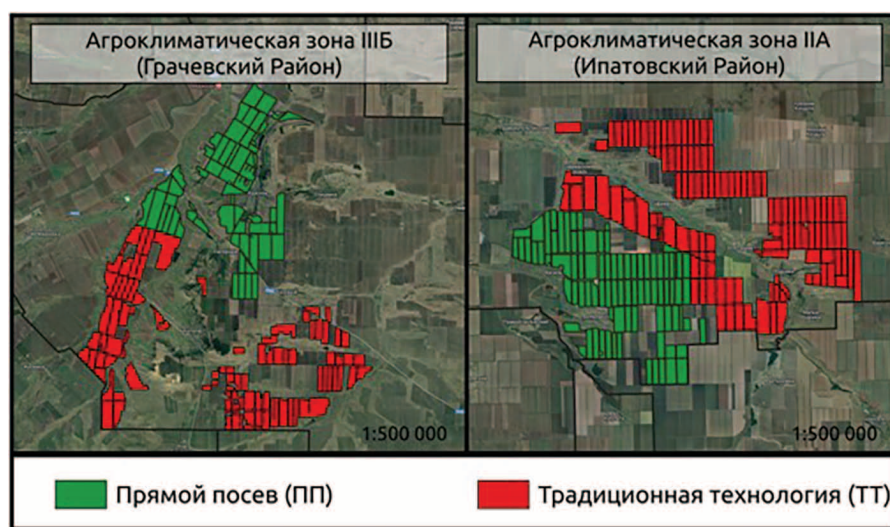


Рисунок 2. Геометрии полей хозяйств, на основании которых формировались выборки данных minNDTI
Figure 2. Farm field geometries on the basis of which minNDTI data samples were formed

Таблица 3. Варианты выборок и количество уникальных дат для каждой коллекции на основании которых строились данные minNDTI

Table 3. Sampling options and the number of unique dates for each collection on the basis of which minNDTI data were constructed

Коллекция (количество изображений)	Агроклиматическая зона	Год				
		2019	2020	2021	2022	2023
Landsat, NDVI = 0,2 Полный вег. период	IIa	18	17	17	30	26
	IIIб	18	17	16	31	28
Landsat, NDVI = 0,3 Полный вег. период	IIa	18	17	17	30	26
	IIIб	18	17	16	31	28
Landsat, NDVI = 0,2 С 07-01 по 10-01	IIa	9	9	11	16	14
	IIIб	9	10	11	17	16
Landsat, NDVI = 0,3 С 07-01 по 10-01	IIa	9	9	11	16	14
	IIIб	9	10	11	17	16
Sentinel-2, NDVI = 0,2 Полный вег. период	IIa	57	59	55	44	51
	IIIб	62	62	58	53	56
Sentinel-2, NDVI = 0,3 Полный вег. период	IIa	57	59	55	44	51
	IIIб	62	62	58	53	56
Sentinel-2, NDVI = 0,2 С 07-01 по 10-01	IIa	27	34	30	23	27
	IIIб	32	35	31	29	31
Sentinel-2, NDVI = 0,3 С 07-01 по 10-01	IIa	27	34	30	23	27
	IIIб	32	35	31	29	31



Оптимальные значения для выборок были получены при использовании системы Sentinel-2 при значении NDVI как порога для исключения живой растительности 0,3, и сроке отбора данных с 1 июня по 1 октября каждого года для засушливой агроклиматической зоны (IIб). Набор данных Sentinel-2 позволил подобрать значения minNDTI в выборке за каждый год из 5 лет так, что были получены стабильные показатели для прямого посева и традиционной технологии. Выборки за каждый год как по прямому посеву так и для традиционной технологии

относятся к одной генеральной совокупности. Так же в ходе исследования было установлено, что порог для отсекающей растительности 0,2 NDVI как способствует большим потерям данных и использование его не рекомендуется (табл. 5).

При использовании данных системы Landsat средние за 5 лет потери данных при пороге фильтрации растительности NDVI = 0,2 для IIa зоны составляют 45,7%, для IIIб зоны 79,6%. В тоже время мы наблюдаем закономерность что для IIIб зоны при использовании разных

систем и порогов NDVI потери данных, как правило выше. Сравнение потерь данных Landsat и Sentinel-2 говорит о том, что предпочтительнее использовать данные Sentinel-2 так как за счет большего количества изображений коллекция данных на основании которых будет строиться minNDTI будет больше, и вероятность получения репрезентативных данных выше. Следует обратить внимание и на разницу потерь между агроклиматическими зонами — в зоне неустойчивого увлажнения потери как при использовании Landsat так и Sentinel-2 выше, что в свою очередь связано с большим процентом облачности на изображениях.

На рис. 3 представлено распределение значений для выборки, основанной на данных Sentinel-2, при пороге для удаления живой растительности NDVI = 0,3 и временном диапазоне данных — с 1 июня по 1 октября за каждый год.

Среднее значение по общей выборке для прямого посева составляет 0,8, а медиана 0,89 при коэффициенте вариации 0,7. Для традиционной технологии среднее — 0,58, медиана — 0,74 при коэффициенте вариации 0,43. Данные статистики были получены для выборок вне зависимости от культур. Это говорит о том, что значения minNDTI для любой культуры в засушливой зоне Ставропольского края будут выше, чем при традиционной технологии. Отмечается так же более высокий коэффициент вариации при прямом посеве, что отвечает более широкому диапазону значений стандартизованного minNDTI в выборке, и в свою очередь связано с неоднородностью покрова растительных остатков при разных культурах. Следует отметить и выбросы, имеющиеся для некоторых лет в выборках. Исключение выбросов возможно осуществить в дальнейшем при помощи удаления данных выходящих за пределы в 1,5 межквартильных размаха.

Заключение. Установлено, что вне зависимости от способа подбора данных значения minNDTI всегда будут выше при прямом посеве чем при традиционной технологии. Наиболее оптимальным уровнем фильтрации живой растительности из набора данных является порог значения NDVI > 0,3, так как при более низких значениях есть вероятность потери значительной части данных. Наиболее полную и репрезентативную коллекцию данных minNDTI возможно получить при использовании данных Sentinel — 2, как основы. Для засушливой зоны Ставропольского края (северо-западная подзона) были получены выборки minNDTI характеризующие прямой посев и традиционную для региона технологию. Они являются типичными за каждый год исследования, что дает основание полагать возможным использование представленных данных для выделения хозяйств использующих прямой посев за любой временной промежуток.

Для зоны неустойчивого увлажнения (центральная подзона) значения по годам, приведенные в данном исследовании статистически достоверно различаются между собой, что не позволяет установить однозначный критерий на основании minNDTI для разделения ПП и ТТ в этом регионе.

Индекс minNDTI при стандартизации, является качественным признаком для выделения хозяйств по применяемой технологии. Его использование оптимально в агроклиматических

Таблица 4. Результаты статистического тестирования (H-тест) для выборок minNDTI**
Table 4. Results of statistical testing (H-test) for minNDTI samples

Коллекция (количество изображений)	Агроклиматическая зона	Результаты статистического тестирования			
		Выборка ПП	Выборка ТТ	Различия между ПП и ТТ	Различия Landsat/sentinel
Landsat, NDVI = 0,2 Полный вег. период	IIa	Нет различий	Есть различия	Есть различия	Есть различия
	IIIб	Есть различия	Есть различия	Есть различия	
Landsat, NDVI = 0,3 Полный вег. период	IIa	Нет различий	Есть различия	Есть различия	Есть различия
	IIIб	Есть различия	Есть различия	Есть различия	
Landsat, NDVI = 0,2 С 07-01 по 10-01	IIa	Нет различий	Есть различия	Есть различия	Есть различия
	IIIб	Есть различия	Есть различия	Есть различия	
Landsat, NDVI = 0,3 С 07-01 по 10-01	IIa	Есть различия	Есть различия	Есть различия	Есть различия
	IIIб	Есть различия	Есть различия	Есть различия	
Sentinel-2, NDVI = 0,2 Полный вег. период	IIa	Нет различий	Есть различия	Есть различия	Есть различия
	IIIб	Есть различия	Есть различия	Есть различия	
Sentinel-2, NDVI = 0,3 Полный вег. период	IIa	Нет различий	Есть различия	Есть различия	Есть различия
	IIIб	Есть различия	Нет различий	Есть различия	
Sentinel-2, NDVI = 0,2 С 07-01 по 10-01	IIa	Нет различий	Нет различий	Есть различия	Есть различия
	IIIб	Есть различия	Есть различия	Есть различия	
Sentinel-2, NDVI = 0,3 С 07-01 по 10-01	IIa	Нет различий	Нет различий	Есть различия	Есть различия
	IIIб	Есть различия	Есть различия	Есть различия	

**В таблице зеленым цветом выделены те выборки в которых отсутствуют статистически достоверные различия (уровень значимости $p > 0.5$) **

Таблица 5. Потери при фильтрации данных от живой растительности при уровне NDVI 0.3 и 0.2
Table 5. Losses when filtering data from vegetation at NDVI threshold 0.3 and 0.2

Система ДЗЗ	Значения NDVI для фильтрации	Зона	Процент потерь (%)
Landsat	0,2	IIa	45,7
	0,2	IIIб	79,6
	0,3	IIa	3,1
	0,3	IIIб	23,5
Sentinel-2	0,2	IIa	7,7
	0,2	IIIб	26,9
	0,3	IIa	0,7
	0,3	IIIб	5,6

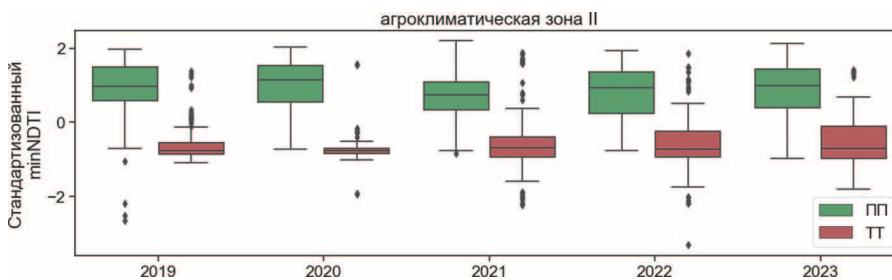


Рисунок 3. Распределение значений minNDTI для II а зоны, полученных на основании данных Sentinel-2, при пороге NDVI 0,3 и временном диапазоне от 1 июня по 1 октября
Figure 3. Distribution of minNDTI values for zone II a, obtained based on Sentinel-2 data, with an NDVI threshold of 0.3 and a time range from June 1 to October 1



условиях схожих с засушливой зоной (северо-западная подзона) или еще более засушливых регионов на востоке Ставропольского края. В более влажных агроклиматических условиях следует учитывать значения индекса minNDTI за каждый год отдельно. Это связано с облачностью и недостатком сцен для анализа.

Список источников

1. Дридигер В.К. Состояние проведения исследований по минимизации обработки почвы и прямому посеву // *Сельскохозяйственный журнал*. 2019. Т. 5. С. 8-16.
2. Hively W.D. и др. Mapping crop residue and tillage intensity using WorldView-3 satellite shortwave infrared residue indices // *Remote Sens.* 2018. Т. 10. № 10. С. 1657.
3. Perry C.R., Lautenschlager L.F. Functional equivalence of spectral vegetation indices // *Remote Sens. Environ.* 1984. Т. 14. № 1-3. С. 169-182.
4. Cai W. и др. Comparison of Different Crop Residue Indices for Estimating Crop Residue Cover Using Field Observation Data // 2018 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics). : IEEE, 2018. С. 1-4.
5. Jin X. и др. Estimation of maize residue cover using Landsat-8 OLI image spectral information and textural features // *Remote Sens.* 2015. Т. 7. № 11. С. 14559-14575.
6. Van Deventer A.P. и др. Using thematic mapper data to identify contrasting soil plains and tillage practices // *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 1997. Т. 63. № 1. С. 87-93.
7. Zheng B. и др. Multitemporal remote sensing of crop residue cover and tillage practices: A validation of the minNDTI strategy in the United States // *J. Soil Water Conserv.* 2013. Т. 68. № 2. С. 120-131.
8. Дридигер В.К. Технология no-till и допускаемые при её освоении ошибки // *Сельскохозяйственный журнал*. 2018. Т. 1. № 11. С. 14-23.
9. Сулейменов М.К. Стандартизировать исследования по нулевой технологии // *Аграрный сектор*. 2015. № 2 (24). С. 90-96.
10. Щукин С.В., Труфанов А.М. Экологизация сельского хозяйства (перевод традиционного сельского хозяйства в органическое). Москва: Буки Веди, 2012. 196 с.
11. Daughtry C., Huntjr E. Mitigating the effects of soil and residue water contents on remotely sensed estimates of crop residue cover // *Remote Sens. Environ.* 2008. Т. 112. № 4. С. 1647-1657.

12. Beeson P.C., Daughtry C.S. T., Wallander S.A. Estimates of conservation tillage practices using landsat archive // *Remote Sens.* 2020. Т. 12. № 16. С. 1-18.
13. Zheng B. и др. Remote sensing of crop residue and tillage practices: Present capabilities and future prospects // *Soil Tillage Res.* 2014. Т. 138. С. 26-34.
14. Кулинец В.В. Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Ставрополь: АГРУС Ставропольского государственного аграрного университета, 2013. 520 с.
15. Masek J. и др. HLS Operational Land Imager Surface Reflectance and TOA Brightness Daily Global 30m v2.0 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center.
16. Ермолаев Н.Р. и др. No-till identification by crop residues on the soil surface using the multi-temporal integral index minNDTI // *АгроЭкоИнфо*. 2021. Т. 4. № 46.
17. Kruskal W.H., Wallis W.A. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis // *J. Am. Stat. Assoc.* 1952. Т. 47. № 260. С. 583.
18. Gorelick N. и др. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // *Remote Sens. Environ.* 2017.

References

1. Driediger V.K. (2019). *Sostoyaniye provedeniya issledovaniy po minimizatsii obrabotki pochvy i pryamomu pos-evu* [The state of research on minimizing tillage and no-till]. *Sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [Agricultural Journal], vol. 5, pp. 8-16.
2. Hively W.D. et al. (2018). Mapping crop residue and tillage intensity using WorldView-3 satellite shortwave infrared residue indices. *Remote Sens*, vol. 10, no. 10, p. 1657.
3. Perry C.R., Lautenschlager L.F. (1984). Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Remote Sens. Environ*, vol. 14, no. 1-3, pp. 169-182.
4. Cai W. et al. (2018). Comparison of Different Crop Residue Indices for Estimating Crop Residue Cover Using Field Observation Data, 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics). IEEE, 2018, pp. 1-4.
5. Jin X. et al. (2015). Estimation of maize residue cover using Landsat-8 OLI image spectral information and textural features. *Remote Sens*, vol. 7, no. 11, pp. 14559-14575.
6. Van Deventer A.P. et al. (1997). Using thematic mapper data to identify contrasting soil plains and tillage practices. *Photogramm. Eng. Remote Sens*, vol. 63, no. 1, p. 87-93.

7. Zheng B. et al. (2014). Remote sensing of crop residue and tillage practices: Present capabilities and future prospects. *Soil Tillage Res*, vol. 138, pp. 26-34.
8. Dridiger V.K. (2018). *Tekhnologiya no-till i dopuskayemye pri yeyo osvovnenii oshibki* [No-till technology and mistakes made during its development]. *Sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [Agricultural Journal], vol. 1, no. 11, pp. 14-23.
9. Suleimenov M.K. (2015). Standartizirovat' issledovaniya po nulevoy tekhnologii [Standardize research on zero technology], *Agrarnyy sektor* [Agricultural sector], no. 2 (24), pp. 90-96.
10. Shchukin S.V., Trufanov A.M. (2012). *Ekologizatsiya sel'skogo khozyaystva (perevod traditsionnogo sel'skogo khozyaystva v organicheskoye)* [Ecologization of agriculture (translation of traditional agriculture into organic)], Moscow, *Buki Vedi*, 196 p.
11. Daughtry C., Huntjr E. (2008). Mitigating the effects of soil and residue water contents on remotely sensed estimates of crop residue cover. *Remote Sens. Environ*, vol. 112, no. 4, p. 1647-1657.
12. Beeson P.C., Daughtry C.S. T., Wallander S.A. (2020). Estimates of conservation tillage practices using landsat archive. *Remote Sens*, vol. 12, no. 16, pp 1-18.
13. Zheng B. et al. (2013). Multitemporal remote sensing of crop residue cover and tillage practices: A validation of the minNDTI strategy in the United States // *J. Soil Water Conserv.* Vol. 68, No. 2, P. 120-131.
14. Kulintsev V.V. (2013). Sistema zemledeliya novogo pokoleniya Stavropol'skogo kraya [New generation farming system of the Stavropol Territory], Stavropol, *AGRUS Stavropol State Agrarian University*, 520 p.
15. Masek J. et al. HLS Operational Land Imager Surface Reflectance and TOA Brightness Daily Global 30m v2.0 (Data set) NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center.
16. Ermolaev N.R. et al. (2021). No-till identification by crop residues on the soil surface using the multi-temporal integral index minNDTI. *AgroEcolInfo*, vol. 4, no. 46.
17. Kruskal W.H., Wallis W.A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis, *J. Am. Stat. Assoc.* Vol. 47, No. 260. P. 583.
18. Gorelick N. et al. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ*.

Информация об авторах:

Ермолаев Никита Романович, научный сотрудник межинститутского отдела по изучению черноземных почв, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6126-5676>, n.r.ermolaev94@gmail.com

Гаджиумаров Расул Гаджиумарович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией возделывания сельскохозяйственных культур, Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр, rasul_agro@mail.ru

Юдин Сергей Анатольевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник межинститутского отдела по изучению черноземных почв, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2199-8474>, yudin_sa@esoil.ru

Белобров Виктор Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий межинститутским отделом по изучению черноземных почв, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6126-5676>, belobrovvp@mail.ru

Дридигер Виктор Корнеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, руководитель научного направления, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0510-2220>, dridiger.victor@gmail.com

Надуткин Иван Александрович, лаборант межинститутского отдела по изучению черноземных почв, Почвенный институт им. В.В. Докучаева

Шаповалов Дмитрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры высшей математики, физики и информатики, Государственный университет по землеустройству, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8268-911X>, shapoval_ecology@mail.ru

Information about the authors:

Nikita R. Ermolaev, junior researcher, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6126-5676>, n.r.ermolaev94@gmail.com

Rasul G. Gadzhumarov, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory of agricultural cultivation, North Caucasus Federal Agricultural Research Center, rasul_agro@mail.ru

Sergey A. Yudin, candidate of biological sciences, Leading Researcher of the Inter-Institute department for the study of chernozem soils, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2199-8474>, yudin_sa@esoil.ru

Viktor P. Belobrov, doctor of agricultural sciences, head of the inter-institute department for the study of chernozem soils, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6126-5676>, belobrovvp@mail.ru

Viktor K. Dridiger, doctor of agricultural sciences, professor, head of scientific direction, North Caucasus Federal Agricultural Research, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0510-2220>, dridiger.victor@gmail.com

Ivan A. Nadutkin, laboratory assistant o of the inter-institute department for the study of chernozem soils, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

Dmitry A. Shapovalov, doctor of technical sciences, professor, professor department of higher mathematics, physics and computer science, State University of Land Use Planning, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8268-911X>, shapoval_ecology@mail.ru

