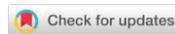


УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-134-159



### Ссылки для цитирования:

Ермолаев Н.Р., Юдин С.А., Белобров В.П., Дридигер В.К., Гаджиумаров Р.Г. Количественная оценка растительных остатков в прямом посеве по данным дистанционного зондирования и полевого обследования почвенного покрова // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 112. С. 134-159. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-134-159

### Cite this article as:

Ermolaev N.R., Yudin S.A., Belobrov V.P., Drediger V.K., Gadzhiumarov R.G., Quantitative assessment of crop residues in no-till technology according to remote sensing data and field soil cover survey, Dokuchaev Soil Bulletin, 2022, V. 112, pp. 134-159, DOI: 10.19047/0136-1694-2022-112-134-159

## Количественная оценка растительных остатков в прямом посеве по данным дистанционного зондирования и полевого обследования почвенного покрова

© 2022 г. Н. Р. Ермолаев<sup>1\*</sup>, С. А. Юдин<sup>1</sup>, В. П. Белобров<sup>1</sup>,  
В. К. Дридигер<sup>2\*\*</sup>, Р. Г. Гаджиумаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,  
119017, Москва, Пыжжевский пер, 7, стр. 2,

\* <https://orcid.org/0000-0003-4317-9277>, e-mail: [n.r.ermolaev94@gmail.com](mailto:n.r.ermolaev94@gmail.com).

<sup>2</sup>ФГБНУ “Северокавказский ФНАЦ”, Россия,  
356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н,

г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49,

\*\* e-mail: [dridiger.victor@gmail.com](mailto:dridiger.victor@gmail.com).

Поступила в редакцию 08.02.2022, после доработки 13.09.2022,  
принята к публикации 08.11.2022

**Резюме:** Ключевой особенностью технологии прямого посева (no-till) является сохранение на поверхности почвы растительных остатков. Их количественная оценка является важной задачей при внедрении технологии в производство. На основании полевых исследований и данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) рассмотрены разные

подходы к этой оценке. Исследования проводились в Буденновском районе Ставропольского края на полях хозяйств, использующих как традиционную технологию (ТТ), так и технологию прямого посева (ПП). В качестве данных ДЗЗ использовались снимки системы Sentinel-2, на основании которых были рассчитаны спектральные индексы NDTI и NDVI. Для оценки проективного покрытия растительными остатками использовалось три метода: 1) весовой учет растительных остатков на единице площади; 2) полевое определение проективного покрытия методом линейных трансект; 3) камеральный анализ фотографий поверхности почвы. По полученным результатам строились модели линейной зависимости значений NDTI от проективного покрытия растительными остатками поверхности почв. Также проанализирована возможность количественного учета растительных остатков только на основании данных ДЗЗ. Наиболее высокий коэффициент детерминации ( $R^2 = 0.97$ ) при наименьшем квадратном корне среднеквадратической ошибки ( $RMSE = 7.93$ ) был получен при моделировании на основе анализа фотографий поверхности почвы, покрытой растительными остатками. На основании модели зависимости значений NDTI от проективного покрытия растительными остатками, полученными в результате анализа фотографий по спутниковым данным Sentinel-2 за вегетационный сезон 2020–2021, получены данные о динамике значений покрытия почвы растительными остатками (CRC) в масштабе отдельно взятого поля и разных технологий обработки. В качестве апробации подхода и оценки его использования для решения производственных задач анализировалась динамика проективного покрытия растительными остатками при разных культурах и разных условиях рельефа. Анализ динамики значений CRC позволил выделять различные этапы возделывания культур при ТТ и ПП, а также в масштабе отдельного поля выявил неоднородность проективного покрытия почв растительными остатками, связанную с особенностями мезорельефа.

**Ключевые слова:** no-till, пожнивные остатки, NDTI, ресурсосберегающее земледелие, оценка проективного покрытия, линейные модели.

## **Quantitative assessment of crop residues in no-till technology according to remote sensing data and field soil cover survey**

© 2022 N. R. Ermolaev<sup>1\*</sup>, S. A. Yudin<sup>1</sup>, V. P. Belobrov<sup>1</sup>,  
V. K. Dridiger<sup>2\*\*</sup>, R. G. Gadzhumarov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,  
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,  
\*<https://orcid.org/0000-0003-4317-9277>, e-mail: [n.r.ermolaev94@gmail.com](mailto:n.r.ermolaev94@gmail.com).*

<sup>2</sup>*North Caucasian Federal Agrarian Centre,  
49 Nikonova Str., Mikhaylovsk 356241, Shpakovsky District  
Stavropol Territory, Russian Federation,  
\*\*e-mail: [dridiger.victor@gmail.com](mailto:dridiger.victor@gmail.com).*

*Received 08.02.2022, Revised 13.09.2022, Accepted 08.11.2022*

**Abstract:** The key feature of the no-till technology is the preservation of crop residues on the soil surface. Crop residues quantitative assessment is an important task when introducing technology into production. On the basis of field and remote sensing data, different approaches to this assessment are considered. The research was carried out in the Budennovsky district of the Stavropol Territory in the fields of farms using both traditional technology (TT) and no-till (III). Images of the Sentinel-2 system were used as remote sensing data, on the basis of which the spectral indices NDTI and NDVI were calculated. Three methods were used to estimate the projective cover by plant residues: 1) weight accounting of plant residues per unit area; 2) field determination of the projective cover by the method of line transects; 3) desk analysis of photographs of the soil surface. Based on the obtained results, models of the linear dependence of NDTI values on the projective cover of the soil surface with plant residues were constructed. The possibility of quantitative accounting of plant residues only on the basis of remote sensing data was also analyzed. The highest coefficient of determination ( $R^2 = 0.97$ ) with the smallest square root of the standard error ( $RMSE = 7.93$ ) was obtained by modeling based on the analysis of photographs of the soil surface covered with plant residues. Based on the model of the dependence of NDTI values on the projective cover of plant residues obtained as a result of the analysis of photographs based on Sentinel-2 satellite data for the growing season 2020–2021, data were obtained on the dynamics of soil coverage with plant residues (CRC) on the scale of a single field and different tillage technologies. As an approbation of the approach and an assessment of its use for solving production problems, the dynamics of the projective cover with plant residues was analyzed under different crops and different relief conditions. An analysis of the dynamics of CRC values made it possible to distinguish between different stages of crop cultivation under traditional technology (TT) and no-till (III), and also on the scale of an individual field revealed the heterogeneity of the projective soil cover with plant residues associated with the features of the mesorelief.

**Keywords:** no-till, crop residues, NDTI, conservation agriculture, projective cover assessment, linear models.

## ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация сельскохозяйственного производства приводит к увеличению негативного антропогенного влияния на природные компоненты почвы ([Kiryushin, 2019](#); [Иванов и др., 2021](#)). Многолетнее использование традиционной технологии (вспашка с оборотом пласта) с последующими культивациями чистых паров снижает почвенное плодородие, что сопровождается потерей органического вещества почвы ([Дридигер и др., 2020](#)), ухудшением физических свойств почвы ([Li et al., 2019](#); [Холодов и др., 2019](#)), снижением продуктивной влаги в почве, потерей питательных элементов и усилением дефляции и водной эрозии ([Белобров и др., 2021](#); [Дридигер и др., 2020](#)).

Для обеспечения устойчивого воспроизводства сельскохозяйственной продукции необходимо введение в производство ресурсосберегающей технологии прямого посева ПП ([Scopel et al., 2013](#)), которая основывается на трех основных принципах: отказ от механического воздействия на почву, постоянный органический покров на поверхности почв и применение севооборота ([Baker et al., 2006](#)).

При использовании ПП пожнивные остатки сохраняются на поверхности почвы в качестве мульчи после ежегодной жатвы. Они оказывают влияние на процессы гумификации, дыхания и водонасыщения почв и, как следствие, урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от их количества, возделываемой культуры и климатических условий. В связи с этим наблюдение за состоянием и оценка проективного покрытия мульчи является важным разделом работ по успешному использованию технологии ПП ([Zhang et al., 2014](#)).

Существует несколько методов оценки проективного покрытия растительными остатками поверхности почв: объектно-ориентированный анализ изображений ([Hulet et al., 2014](#)); анализ цифровых фотографий ([Chen et al., 2010](#); [Hofmann, Blaschke, 2008](#)); по индексу урожая (Johnson et al., 2006); и методы, основанные на анализе данных дистанционного зондирования ([Aguilar](#)

[et al., 2012](#); [Najafi et al., 2019](#); [Zheng et al., 2012](#)). Достаточно часто используют метод визуальной оценки ([Laamrani et al., 2017](#); [Shelton, 2009](#)), но на его достоверность сильно влияет субъективный фактор, что отражается на точности результатов ([Dethier et al., 1993](#); [Vanha-Majamaa et al., 2000](#)). Наиболее распространенным и точным методом является использование точечных рамок, ([Sharma et al., 2016](#); [Vanha-Majamaa et al., 2000](#)) недостатком которого является трудоемкость и большие временные затраты.

Растительные остатки на поверхности почвы формируют своеобразный горизонт, подобный опадку в лесной зоне или степному войлоку. Его количество и проективное покрытие являются критериями для оценки качества применения прямого посева, а также для принятия решений по использованию культур (в том числе и почвопокровных) в плодосменах. Для дешифрирования растительных остатков используются спектральные индексы, объединяемые под названием индексы обработок (tillage indexes), рассчитываемые по данным ДЗЗ ([Eskandari et al., 2016](#); [Morrison Jnr et al., 1993](#); [Nagler et al., 2000](#); [Najafi et al., 2019](#); [Quemada, Daughtry, 2016](#); [South et al., 2004](#); [Sullivan et al., 2008](#); [Zheng et al., 2013](#)). Физической основой для использования данных индексов являются отражательно-поглощительные свойства лигнина и целлюлозы, содержащихся в растительных остатках, в диапазоне электромагнитного спектра близком к 2 100 нм.

NDVI является на данный момент наиболее распространенным вегетационным индексом, используемым для решения широкого спектра задач, связанных с сельским хозяйством ([Tucker, 1979](#)). Для определения растительных остатков на поверхности почв индекс NDTI считается более перспективным ([Beeson et al., 2020](#); [Eskandari et al., 2016](#); [Hively et al., 2018](#); [Jin et al., 2015](#); [Zheng et al., 2012](#)). Необходимо учитывать некоторые ограничения при использовании данного индекса: повышенная влажность почвы и зеленая растительность влияет на значения отражения в каналах SWIR диапазона, что приводит к аномалиям в значениях NDTI. ([Beeson et al., 2020](#); [Daughtry et al., 2005](#); [Quemada, Daughtry, 2016](#)). Для вычисления данного индекса используются каналы платформ ДЗЗ таких как Landsat и Sentinel. Преимуществами при использовании данных систем являются: широкий пространственный охват

данных и свободный доступ к архивным и актуальным изображениям.

Технология ПП перспективна для внедрения в систему земледелия РФ ([Кулинецв, 2013](#); [Иванов и др., 2021](#)). В этой связи одной из приоритетных задач является разработка цифровых решений для оптимизации сельскохозяйственного производства в системе прямого посева, учета и контроля применения данной ресурсосберегающей технологии. Использование данных ДЗЗ является наиболее перспективным подходом для решения данной задачи.

Цель работы – анализ и выбор оптимального подхода к количественной оценке растительных остатков на основании данных ДЗЗ и результатов полевых обследований и его апробация в условиях производства сельскохозяйственной продукции.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования расположены на территории Буденовского района Ставропольского края (44°32'50.70" с. ш., 44°10'31.68" в. д.). Преобладающим типом почв являются темно-каштановые (Haplic Kastanozems Chromic, WRB, 2006) ([Единый..., 2014](#)). Климат региона исследования – континентальный с максимумом температур в июле–августе и годовым количеством осадков около 450 мм ([Кулинецв, 2013](#)). Сочетание почвенно-климатических ресурсов способствует активному развитию земледелия. Наиболее распространенными культурами являются озимая пшеница, подсолнечник, ряд бобовых культур.

Объект исследования – почвенный покров полей двух хозяйств, применяющих ТТ и ПП. СПК “Архангельский” применяет технологию прямого посева в зернопропашном севообороте в течение 11 лет. Расположенное рядом с СПК “Архангельский” ООО СП “Добровольное” постоянно применяет традиционную технологию с использованием чистых паров.

Для решения поставленных задач было выбрано три поля. Два из них прямого посева: ПП1 – в год проведения исследований культура – озимая пшеница, с максимальным (~ 100%) покрытием растительными остатками в сезон 2021 г., площадью 155 га; и ПП2 – подсолнечник, с проективным покрытием почвы растительными

остатками около 30–50%, площадью 102 га (рис. 1). Традиционная технология представлена третьим полем, площадью 110 га, на поверхности почв которого растительные остатки отсутствуют. Выбор для анализа двух полей ПП обусловлен применением в севообороте разных культур, проективное покрытие которых различно, что отражается на данных ДЗЗ.

На рисунке 2 отражена общая схема исследования. В качестве программного обеспечения для обработки данных в рамках работы использовался язык программирования python и модули для работы с геопространственными данными – Geopandas, Rasterio, и статистической обработки – Sci-py, Scikit-learn, Seaborn. Подбор космических снимков осуществлялся с помощью сервиса Google earth engine (GEE) ([Google Earth Engine, 2019](#)).

**Сбор полевых данных.** Полевые работы в рамках исследования проводились 08.09.2021. Данные о количественных параметрах растительных остатков собирались в 9 точках (площадках) методом конверта в 5-кратной повторности. Расположение точек фиксировалось при помощи GPS приемника garmin 64 (точность +/-3.65 м) (рис. 3). Для апробации предложенного в работе подхода 5 из 9 точек были выбраны в пределах поля ПП1 для оценки состояния растительных остатков при разных условиях рельефа (табл. 1). Абсолютная высота была получена из данных SRTM. Формы рельефа выделялись экспертно.



**Рис. 1.** А – поверхность поля ПП1, Б – поверхность поля ПП2, В – поверхность поля ТТ.

**Fig. 1.** А – surface ПП1, Б – surface ПП2, В – surface ТТ.

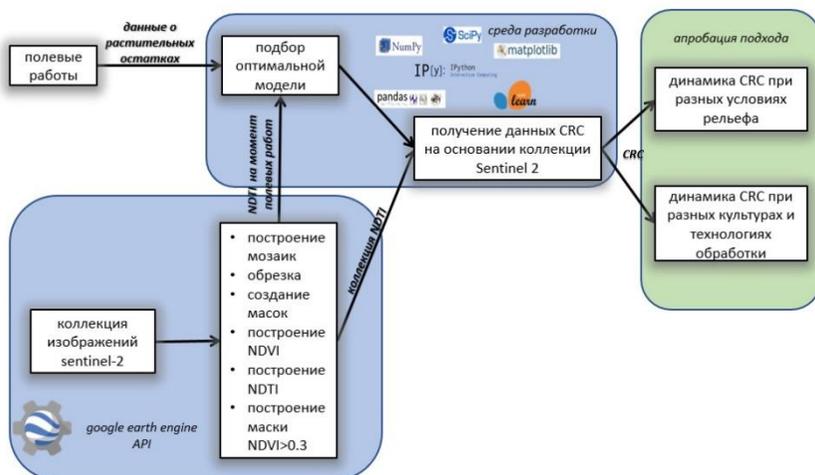


Рис. 2. Общая схема исследования.

Fig. 2. Research design.

Таблица 1. Формы мезорельефа поля ПП1 по данным SRTM

Table 1. Mesorelief forms of the ПП1 field according to SRTM data

Номер точки отбора	Формы	Абс. высота (м)
525	Приводораздельный склон (уклон ~1°)	178
526	Приводораздельный склон (уклон ~1°)	175
528	Верхняя часть днища широкой ложбины стока	174
527	Тальвег средней части днища ложбины стока	171.5
586	Тальвег нижней части днища ложбины стока, ограниченный лесополосой	170

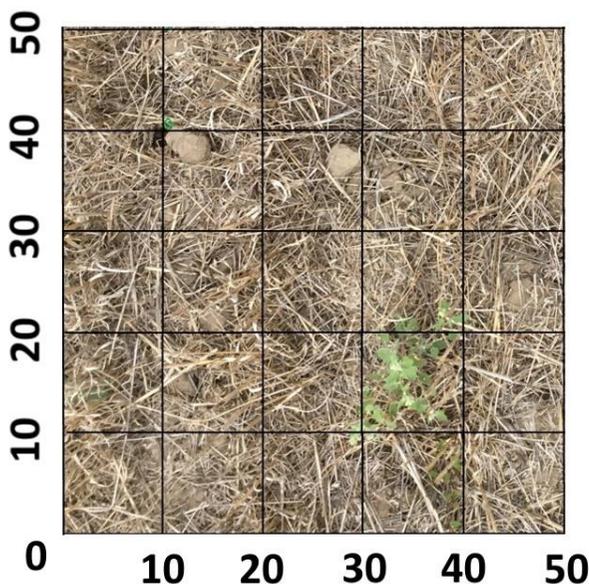
Во всех точках данные о состоянии растительных остатков отбирались тремя методами:

1) Весовой анализ – в пределах участка  $50 \times 50$  см, ограниченного рамкой, собирались пожнивные остатки. Взвешивание растительных остатков производилось при отборе при помощи бытовых кухонных весов (точность до 1 грамма).

2) Полевое определение проективного покрытия – отбор осуществлялся по методу линейных трансект (Line-Transect method), описанному в литературе ([Shelton, 2009](#)). Суть метода заключается в подсчете точек пересечения растительных остатков с линейным объектом, используемым для измерения (веревка, размеченная узлами на равные участки, мерная линейка).

3) Камеральное определение проективного покрытия на основании фотоснимков поверхности – поверхность почвы фотографировалась со стандартной высоты 1.5 м ([De Wit, 2018](#); [Demarez et al., 2008](#); [Prudnikova et al., 2019](#)). Для расчета процентного покрытия почвы растительными остатками на фото в графическом редакторе накладывалась цифровая сетка плотностью  $10 \times 10$  см, и подсчитывалось количество пересечений растительных остатков и узлов сетки (рис. 3) ([Laamrani et al., 2017](#)).

**Обработка и анализ данных ДЗЗ.** В качестве данных дистанционного зондирования земли использовались мультиспектральные изображения высокого разрешения Sentinel-2 уровня коррекции 2A (Surface Reflectance). Изображения отбирались за период с 15 ноября 2020 г. по 15 ноября 2021 г., облачное покрытие на которых не превышало 10%. Так как объект исследования был расположен на границе двух сцен, для увеличения коллекции и повышения информативности данных формировались мозаики, охватывающие область изучения. Из мозаик изображений удалялись пиксели, соответствующие теням облаков и облакам для каждого изображения на основании данных, содержащихся в слое SCL (scene classification layer), это классифицированное изображение, получаемое в результате применения алгоритма sen2cor, используемое для фильтрации данных, инструментами GEE. Используя каналы полученных цифровых изображений для каждой сцены в полученной коллекции рассчитывались NDVI и NDTI.



**Рис. 3.** Фотография поверхности почвы, покрытой растительными остатками, с высоты 1.5 м и с наложенной цифровой сеткой с шагом 10 см.

**Fig. 3.** Photograph of the soil surface covered with crop residues taken from 1.5 m height and overlaid with a digital grid with 10 cm step.

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

$$NDTI = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2},$$

где RED, NIR, SWIR1, SWIR2 – каналы Sentinel 2 в диапазонах 650–680 нм, 785–899 нм, 1 565–1 655 нм, 2 100–2 280 нм соответственно.

По данным NDVI строилась маска живой растительности. Порогом для исключения живой растительности являлось значения выше 0.3 NDVI (Beeson et al., 2020). Наиболее близкими по времени к моменту проведения полевых работ являлись данные за

21.09.2021, на основании которых строились модели линейной зависимости значений NDTI от данных, полученных в ходе полевых работ.

Наряду с методами количественного учета растительных остатков путем построения линейных моделей существует метод оценки без полевых данных ([Beeson et al., 2020](#)). По результатам исследований Peter C. Beeson, Craig S.T. Daughtry и Steven A. Walter, зависимость между значениями NDTI и проективного покрытия растительными остатками линейна и, следовательно, можно использовать формулу вида:

$$CRC = m(NDTI) + b,$$

$$m = \frac{(RCmax - RCmin)}{(NDTI_{max} - NDTI_{min})},$$

$$b = -1 * (m * NDTI_{min}) + 0),$$

где CRC – процент покрытия растительными остатками, NDTI – значения пикселя, RCmax – максимальное значение покрытия растительными остатками на основании литературных данных, RCmin – минимальный покров растительными остатками, NDTI<sub>max</sub> и NDTI<sub>min</sub> – среднее NDTI +/-3 станд. откл.

Условием использования данного метода является наличие объектов с минимальным (открытая поверхность почвы в ТТ) и максимальным (поля, на которых используется ПП) проективным покрытием растительными остатками в пределах одного изображения. Проективное покрытие для разных культур определяется на основании литературных данных. Для озимой пшеницы максимальное проективное покрытие – RCmax – составляет 85%, RCmin – для открытой почвы 0% ([Shelton, 1995](#)). Качество моделей при использовании данного метода оценивалось на основании результатов полевого определения проективного покрытия и камерального способа оценки.

Таким образом, проанализировано четыре метода учета растительных остатков:

1. Полевая оценка покрытия растительными остатками и мо-

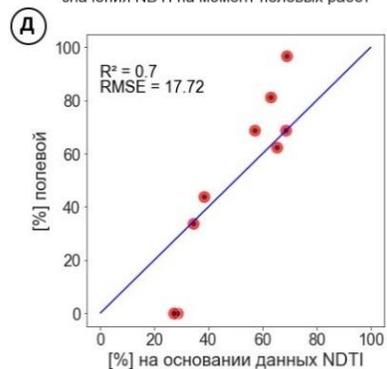
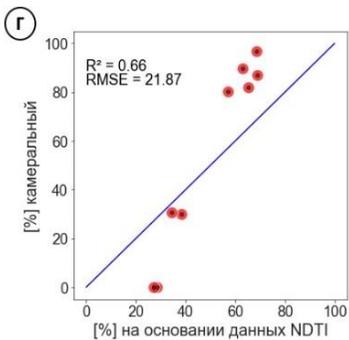
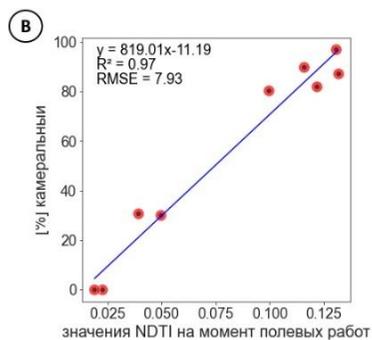
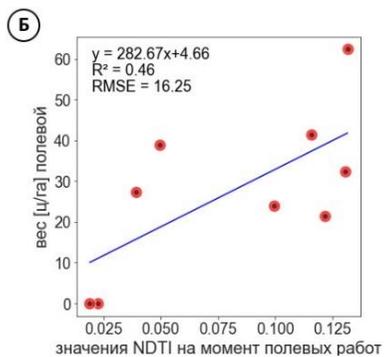
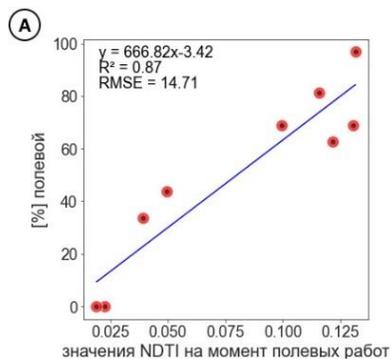
- делирование на основании данных ДЗЗ.
2. Полевая оценка массы растительных остатков на единицу площади и моделирование на основании данных ДЗЗ.
  3. Камеральная обработка фотографий поверхности методом фасеток и дальнейшее моделирование на основании данных ДЗЗ.
  4. Получение результатов о количестве растительных остатков только на основании данных ДЗЗ.

Моделирование осуществлялось при помощи метода линейной регрессии. Метриками оценки качества модели служили  $R^2$  – коэффициент детерминации и RMSE – квадратный корень среднеквадратической ошибки. Так как выборки имели ограниченный объем, для объективной оценки полученных моделей использовалась кросс-валидация методом Leave one out. Для оценки точности данных, полученных при помощи подхода, представленного в работе Peter C., рассчитывались меры  $R^2$  и RMSE на основании значений, полученных при полевом и камеральном определении продуктивного покрытия.

На основании метода, показавшего наиболее высокие метрики качества, были получены данные CRC (crop residue cover, %) – меры количественной оценки покрытия поверхности растительными остатками за все доступные в коллекции моменты времени в масштабе. Для апробации наилучшего подхода была проанализирована динамика состояния растительных остатков при разных технологиях обработки и оценена неоднородность покрова в зависимости от условий рельефа в пределах поля ПП1. Для статистического подтверждения влияния рельефа на неоднородность покрова растительных остатков проводилось статистическое тестирование методом Краскера–Уолиса (Н-тест – непараметрический аналог ANOVA) ([Kruskal, Wallis, 1952](#)). Статистическое тестирование осуществлялось при уровне  $\alpha = 0.0001$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 4 представлены линейные модели взаимосвязи полевых данных и данных ДЗЗ.



**Рис. 4.** Модели количественной оценки покрытия растительными остатками на основании полевых данных и данных ДЗЗ. **А** – Модель зависимости значений NDTI от состояния проективного покрытия, полученного методом линейных трансект; **Б** – Модель зависимости значений NDTI от веса растительных остатков на единицу площади; **В** – Модель зависимости значений NDTI от состояния проективного покрытия, полученного на основании анализа фотографий поверхности; **Г** – Оценка точности данных, полученных по методу Peter C., и состояния проективного покрытия, полученного на основании анализа фотографий поверхности; **Д** – Оценка точности данных, полученных по методу Peter C., и состояния проективного покрытия, полученного методом линейных трансект.

**Fig. 4.** Models for quantifying crop residue coverage based on field and remote sensing data. **A** – Model of the dependence of NDTI indicators on the state of the projective cover obtained by the method of line transects; **B** – Model of the dependence of NDTI on the weight of plant residues per unit area; **B** – Model of the dependence of NDTI indicators on the state of the projective coverage obtained on the basis of the analysis of the surface; **Г** – Assessment of the state of the initial coverage by the method of Peter C. and the state of the projective coverage obtained on the basis of the analysis of the surface photographs; **Д** – Assessment of the state of the initial coverage by the method of Peter C. and the state of the projective cover obtained by the method of line transects.

Модель 4А, основанная на взаимосвязи проективного покрытия растительными остатками, определенными в поле с данными ДЗЗ, показала значение  $R^2 = 0.87$  при  $RMSE = 14.71$ . Моделирование на основании весовой оценки растительных остатков и данных ДЗЗ (рис. 4Б) показывает низкий коэффициент детерминации и высокую ошибку, что говорит о низкой линейной зависимости данных показателей. Модели, представленные на рисунках 4Г и 4Д имеют высокое значение  $RMSE$  относительно других представленных моделей, что говорит об ограниченной информативности и качестве этих моделей.

Наиболее высокий коэффициент детерминации и меньшую ошибку имеет модель, построенная на данных, полученных в ходе камерального определения растительных остатков на основании анализа фотографий (рис. 4В). Кроме максимальных значений

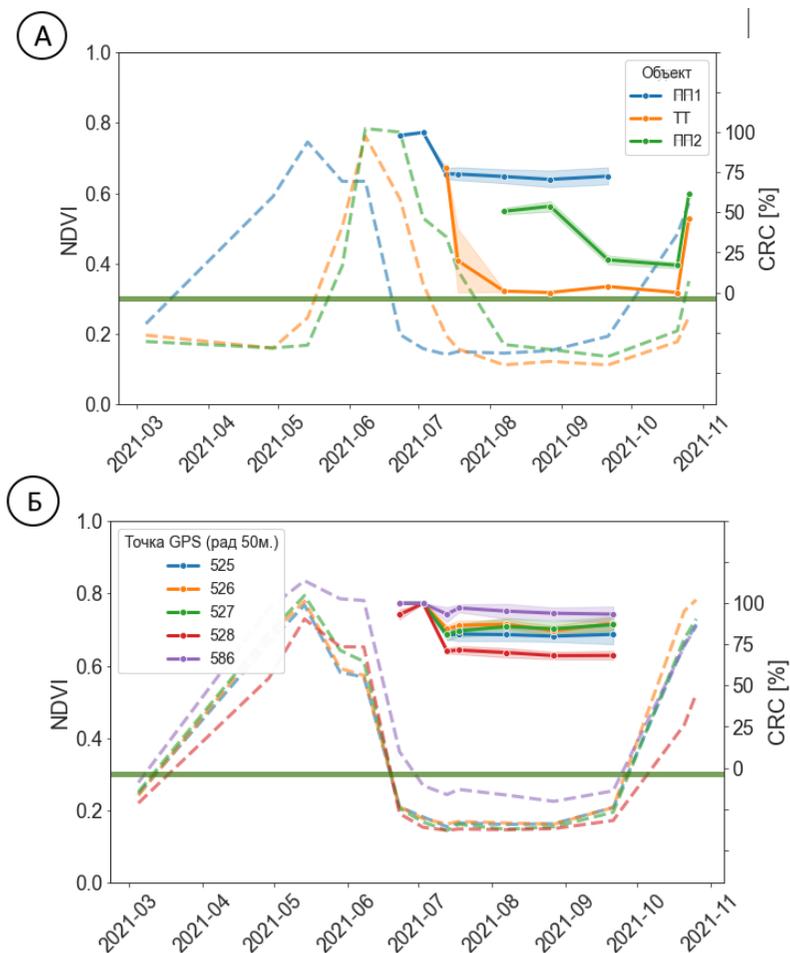
метрик качества, в процессе работы были выявлены следующие преимущества данного подхода к анализу состояния растительных остатков, в сравнении с другими, описанными в исследовании, которые могут быть решающими при внедрении в производство:

- 1) Фотографирование поверхности технически проще реализовать, чем расчет проективного покрытия растительными остатками непосредственно в поле.
- 2) Оперативный отбор большого объема данных.
- 3) Оценка фотографий проводится оператором в камеральных условиях.

При большом количестве фотографий возможна замена работы оператора на машинные методы анализа фотографий.

На основании модели зависимости данных NDTI от состояния проективного покрытия, полученного на основании анализа фотографий поверхности, были вычислены значения CRC за вегетационный сезон 2020–2021, представленные на рисунке 5. Для ПП1 средние по полю значения площади покрытия растительными остатками с 23.06.2021 по 03.07.2021 равны 100%, после уборки, которая, судя по динамике значений NDVI, была примерно 15.07.2021, они снижаются до 75% и держатся на таком уровне до 21.09.2021. После этого из-за осенней вегетации и/или появления сорной растительности оценивать CRC дистанционными методами стало невозможно, так как появление живой растительности значительно искажает значения индекса NDTI. Для ПП2 и ТТ также можно установить момент уборки урожая, приходящийся на 27.08.2021 и 13.07.2021 соответственно.

На рисунке 5А в правой части графика показан резкий рост значений CRC с 0% до 50–60% для ТТ, и с 25% до 50–60% – для ПП1, этот рост связан с появлением сорной растительности на полях. Данная ошибка возникла несмотря на создание маски значений  $NDVI > 0.3$ , из чего можно сделать вывод, что порог NDVI в 0.3 не является окончательным. Более точное построение масок живой растительности для получения наиболее корректных значений CRC требует продолжения работ по подбору порогового значения, чтобы исключить влияние живой растительности.



**Рис. 5.** Динамика значений NDVI (пунктирные линии), проективное покрытие растительными остатками (сплошные линии); горизонтальной зеленой линией обозначена граница NDVI равная 0.3. **А** – для полей; **Б** – для ключевых участков поля ПП1.

**Fig. 5.** Dynamics of NDVI values (dotted lines), projective cover with plant residues (solid lines); horizontal green line indicates the NDVI boundary equal to 0.3. **A** – for fields; **B** – for key sections of the PPP1 field.

Для демонстрации перспектив использования подхода при решении практических задач в условиях производства была проведена оценка динамики неоднородности покрова растительных остатков в пределах поля ПП1.

Анализ динамики проективного покрытия растительными остатками в связи с формами мезорельефа на поле ПП1 показал, что за период более двух месяцев значения по всем ключевым точкам близки (табл. 2).

**Таблица 2.** p-value полученные в результате статистического тестирования по методу Краскера–Уолиса (H-теста)

**Table 2.** p-values obtained as a result of statistical testing according Krasker–Wallis method (H-test)

Дата	Сравниваемые показатели	Варианты сравнения выборок $\alpha = 0.0001$		
		525, 526, 527	525, 526, 527, 528	525, 526, 527, 528, 586
13.07.2021	NDVI	0.0012	0.0001	<0.0001
	CRC	0.181	0.0001	<0.0001
18.07.2021	NDVI	0.3024	0.0009	<0.0001
	CRC	0.123	0.0001	<0.0001
07.08.2021	NDVI	0.0021	0.0003	<0.0001
	CRC	0.1355	0.0001	<0.0001
27.08.2021	NDVI	0.7049	0.0112	<0.0001
	CRC	0.4416	0.0001	<0.0001
21.09.2021	NDVI	0.3163	0.0004	<0.0001
	CRC	0.2027	0.0001	<0.0001

Это подтверждает, что за столь короткий период времени процессы разложения растительности не приводят к уменьшению площади проективного покрытия. Тем не менее, наиболее контрастные значения динамик имеют точки 528 и 586, расположенные в пределах одной формы мезорельефа (днище ложбины), но в разных по увлажнению условиях. Значения проективного покрытия в точках 525, 526 и 527 составляют около 80–85%, тогда как в точках 528 и 586 – 68–70% и 93–97% соответственно. Значения

CRC и NDVI в точках 525, 526, 527 и 528 не имеют статистически достоверных различий, следовательно, покрытие в данных точках однородное.

В тоже время при сравнении этих точек с 586 различия значимы во все временные промежутки как у CRC, так и NDVI. Во время вегетационного пика значения для точки участка 586 были самые высокие. Расположение растительных остатков в тальвеге ложбины способствует их накоплению за счет ветрового переноса, что создает разные условия разложения пожнивных остатков в мезорельефе полей и приводит к трансформации продуктивных свойств почв. Формы мезорельефа являются маркерами разных условий почвообразования и формирования структуры почвенного покрова полей, что сказывается на условиях роста возделываемых культур и их урожайности.

## ВЫВОДЫ

1. Наиболее точную оценку при моделировании результатов покрытия растительными остатками на основании полевых исследований и данных дистанционного зондирования земли дает метод моделирования на основании данных, полученных в результате камерального определения проективного покрытия, при котором используется наложение цифровой сетки на фотографии, сделанные в полевых условиях с дальнейшей обработкой изображения.
2. Данные спектрального индекса NDTI позволяют анализировать в динамике характер проективного покрытия почв поля растительными остатками в масштабе отдельных полей и хозяйств.
3. Исходный алгоритм обработки данных ДЗЗ для получения CRC на основании NDTI, предложенный в литературе, требует доработки. Построение масок на основании данных NDVI  $> 0.3$  не является оптимальным в силу возникающих ошибок. Требуется более точный подбор порогового значения NDVI или использование иного вегетационного индекса.
4. Апробация предложенного подхода демонстрирует возможности его применения для решения задач контроля и управления растительными остатками в системах ресурсосберегающего земледелия и имеет перспективу для внедрения в условиях производ-

ства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобров В.П., Дридригер В.К., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., Докучаева В.В. К вопросу о диагностике и защите почв от дефляции в Ставропольском крае // Аграрный вестник Урала. 2021. Т. 02. № 205. С. 12–25.
2. Дридригер В.К., Иванов А.Л., Белобров В.П., Кутовая О.В. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева // Почвоведение. 2020а. № 9. С. 1111–1120.
3. Дридригер В.К., Белобров В.П., Антонов С.А., Юдин С.А., Гаджиумаров Г.С., Лиходиевская С.А., Ермолаев Н.Р. Защита почв от водной эрозии и дефляции в технологии no-till // Земледелие. 2020b. Т. 6. С. 11–17.
4. Ермолаев Н.Р., Юдин С.А., Белобров В.П., Дридригер В.К., Гаджиумаров Р.Г. Идентификация прямого посева (no-till) по растительным остаткам на поверхности почв при использовании мультитременного интегрального индекса minNDTI // АгроЭкоИнфо. 2021. Т. 4. № 46. С. 1–14.
5. Иванов А.Л., Кулинцев В.В., Дридригер В.К., Белобров В.П. Освоение технологии прямого посева на черноземах России // Достижения науки и техники в АПК. 2021. Т. 35. № 4. С. 8–16.
6. Кулинцев В.В. Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2013. 520 с.
7. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.Я., Лазарев В.И., Фрид А.С. Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 184–193.
8. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 / Под ред. Иванова А.Л., Шобы С.А. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. Тул-а: Гриф и К, 2014. 768 с.
9. Расписание погоды. URL: <https://rp5.ru/>.
10. Aguilar J., Evans R., Vigil M., Daughtry C.S.T. Remotely sensed estimates of crop residue cover for standing and flat wheat stubble // Am. Soc. Agric. Biol. Eng. Annu. Int. Meet. 2012, Vol. 2. P. 1610–1618.
11. Baker C.J., Saxton K.E., Ritchie W.R., Chamen W.C.T., Reicosky D.C., Ribeiro M.F.S., Justice S.E., Hobbs P.R. No-tillage seeding in conservation agriculture: Second edition. 2006. 326 p.

12. *Beeson P.C., Daughtry C.S.T., Wallander S.A.* Estimates of conservation tillage practices using landsat archive // *Remote Sens.* 2020. Vol. 12. No. 16. P. 1–18.
13. *Chen Z., Chen W., Leblanc S.G., Henry G.H.R.* Digital Photograph Analysis for Measuring Percent Plant Cover in the Arctic // *ARCTIC.* 2010. Vol. 63. No. 3. P. 261–379.
14. *Daughtry C.S.T., Hunt E.R., Doraiswamy P.C., McMurtrey J.E.* Remote sensing the spatial distribution of crop residues // *Agron. J.* 2005. Vol. 97. No. 3. P. 864–871.
15. *Demarez V., Duthoit S., Baret F., Weiss M., Dedieu G.* Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs // *Agric. For. Meteorol.* 2008. Vol. 148. No. 4. P. 644–655.
16. *Dethier M.N., Graham E.S., Cohen S., Tear L.M.* Visual versus random-point percent cover estimations: “objective” is not always better” // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1993. Vol. 96. No. 1. P. 93–100.
17. *Eskandari I., Navid H., Rangzan K.* Evaluating spectral indices for determining conservation and conventional tillage systems in a vetch-wheat rotation // *Int. Soil Water Conserv. Res.* 2016. Vol. 4. No. 2. P. 93–98.
18. *Google Earth Engine.* Earth Engine Data Catalog.
19. *Hively W.D., Lamb B.T., Daughtry C.S.T., Shermeyer J., McCarty G.W., Quemada M.* Mapping crop residue and tillage intensity using WorldView-3 satellite shortwave infrared residue indices // *Remote Sens.* 2018. Vol. 10. No. 10. 1657.
20. *Hofmann Strobl J., Blaschke T.P.* A method for adopting global image segmentation methods to images of different resolutions. // *International Archives of Photogrammetry.* 2008. P. 343–349.
21. *Hulet A., Roundy B.A., Petersen S.L., Jensen R.R., Bunting S.C.* Cover estimations using object-based image analysis rule sets developed across multiple scales in Pinyon-Juniper Woodlands // *Rangel. Ecol. Manag.* 2014. Vol. 67. No. 3. P. 318–327.
22. *Jin X., Ma J., Wen Z., Song K.* Estimation of maize residue cover using Landsat-8 OLI image spectral information and textural features // *Remote Sens.* 2015. Vol. 7. No. 11. P. 14559–14575.
23. *Johnson J.M.F., Allmaras R.R., Reicosky D.C.* Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database // *Agron. J.* 2006. Vol. 98. No. 3. P. 622–636.
24. *Kiryushin V.I.* Scientific prerequisites of optimization of land resources // *Vestn. Russ. Agric. Sci.* 2019. No. 4. P. 7–10.
25. *Kruskal W.H., Wallis W.A.* Use of ranks in one-criterion variance analysis // *J. Am. Stat. Assoc.* 1952. Vol. 47. No. 260. P. 583–621.

26. *Laamrani A., Joosse P., Feisthauer N.* Determining the number of measurements required to estimate crop residue cover by different methods // *J. Soil Water Conserv.* 2017. Т. 72. № 5. P. 471–479.
27. *Li Y., Li Z., Cui S., Jagadamma S., Zhang Q.* Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis // *Soil Tillage Res.* 2019. Vol. 194. No. June. P. 104–292.
28. *McNairn H., Protz R.* Mapping corn residue cover on agricultural fields in oxford county, ontario, using thematic mapper // *Can. J. Remote Sens.* 1993. Vol. 19. No. 2. P. 152–159.
29. *Morrison Jnr J.E., Huang C.H., Lightle D.T., Daughtry C.S.T.* Residue measurement techniques // *J. Soil Water Conserv.* 1993. Vol. 48. No. 6. P. 478–483.
30. *Nagler P.L., Daughtry C.S.T., Goward S.N.* Plant litter and soil reflectance // *Remote Sens. Environ.* 2000. Vol. 71. P. 207–215.
31. *Najafi P., Navid H., Feizizadeh B., Eskandari I.* Object-based satellite image analysis applied for crop residue estimating using Landsat OLI imagery // *Int. J. Remote Sens.* 2018. Vol. 39. No. 19. P. 6117–6136.
32. *Najafi P., Navid H., Feizizadeh B., Eskandari I., Blaschke T.* Fuzzy object-based image analysis methods using Sentinel-2A and Landsat-8 data to map and characterize soil surface residue // *Remote Sens.* 2019. Vol. 11. No. 21. 2583.
33. *Prudnikova E., Savin I., Vindeker G., Grubina P., Shishkonakova E., Sharychev D.* Influence of soil background on spectral reflectance of winter wheat crop canopy // *Remote Sens.* 2019. Vol. 11. No. 16. P. 1–25.
34. *Quemada M., Daughtry C.* Spectral Indices to Improve Crop Residue Cover Estimation under Varying Moisture Conditions // *Remote Sens.* 2016. Vol. 8. No. 8. 660.
35. *Scopel E., Triomphe B., Affholder F., Silva F.A.M.E. Da, Corbeels M., Xavier J.H.V., Lahmar R., Recous S., Bernoux M., Blanchart E., Carvalho Mendes I. De, Tourdonnet S. De.* Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review // *Agron. Sustain. Dev.* 2013. Vol. 33. No. 1. P. 113–130.
36. *Sharma V., Irmak S., Kilic A., Sharma V., Gilley J.E., Meyer G.E., Knezevic S.Z., Marx D.* Quantification and mapping of surface residue cover for maize and soybean fields in south central Nebraska // *Trans. ASABE.* 2016. Vol. 59. No. 3. P. 925–939.
37. *Shelton D.P.* Estimating percent residue cover using the line-transect method // *Eng. Ext. Agric.* 2009. No. January. P. 1–3.

38. *Shelton D.P.* Estimating percent residue cover using the calculation method // *Hist. Mater. from Univ. Nebraska-Lincoln Ext.* 1995. No. January. P. 1–3.
39. *South S., Qi J., Lusch D.P.* Optimal classification methods for mapping agricultural tillage practices // *Remote Sens. Environ.* 2004. Vol. 91. No. 1. P. 90–97.
40. *Sullivan D.G., Lee D., Beasley J., Brown S., Williams E.J.* Evaluating a crop residue cover index for determining tillage regime in a cotton-corn-peanut rotation // *J. Soil Water Conserv.* 2008. Vol. 63. No. 1. P. 28–36.
41. *Tucker C.J.* Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation // *Remote Sens. Environ.* 1979. Vol. 8. No. 2. P. 127–150.
42. *Vanha-Majamaa I., Salemaa M., Tuominen S., Mikkola K.* Digitized photographs in vegetation analysis – a comparison of cover estimates // *Appl. Veg. Sci.* 2000. Vol. 3. No. 1. P. 89–94.
43. *Weiss M., Jacob F., Duveiller G.* Remote sensing for agricultural applications: A meta-review // *Remote Sens. Environ.* 2020. Vol. 236. 111402.
44. *Wit A.R.V. De.* A dataset of spectral and biophysical measurements over Russian wheat fields // *Open Data J. Agric. Res.* 2018. Vol. 4. P. 22–27.
45. *Zhang P., Wei T., Jia Z., Han Q., Ren X., Li Y.* Effects of straw incorporation on soil organic matter and soil water-stable aggregates content in semiarid regions of Northwest China // *PLoS One.* 2014. Vol. 9. No. 3. e92839.
46. *Zheng B., Campbell J.B., Serbin G., Daughtry C.S.T.* Multitemporal remote sensing of crop residue cover and tillage practices: A validation of the minNDTI strategy in the United States // *J. Soil Water Conserv.* 2013a. Vol. 68. No. 2. P. 120–131.
47. *Zheng B., Campbell J.B., Beurs K.M. de.* Remote sensing of crop residue cover using multi-temporal Landsat imagery // *Remote Sens. Environ.* 2012. Vol. 117. P. 177–183.
48. *Zheng B., Campbell J.B., Shao Y., Wynne R.H.* Broad-Scale Monitoring of Tillage Practices Using Sequential Landsat Imagery // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2013b. Vol. 77. No. 5. P. 1755–1764.

## REFERENCES

1. Belobrov V.P., Dridiger V.K., Judin S.A., Ermolaev N.R., Dokuchaeva V.V., K voprosu o diagnostike i zashhite pochv ot defljacii v Stavropol'skom krae (On the issue of diagnostics and protection of soils from deflation in the Stavropol Territory), *Agrarnyj vestnik Urala*, 2021, Vol. 02,

No. 205, pp. 12–25.

2. Dridiger V.K., Ivanov A.L., Belobrov V.P., Kutovaja O.V., Vosstanovlenie svojstv pochv v tehnologii prjamogo poseva (Restoration of soil properties in direct seeding technology), *Pochvovedenie*, 2020a, No. 9, pp. 1111–1120.

3. Dridiger V.K., Belobrov V.P., Antonov S.A., Judin S.A., Gadzhumarov G.S., Lihodievskaja S.A., Ermolaev N.R., Zashhita pochv ot vodnoj jerozii i defljacii v tehnologii no-till (Soil protection from water erosion and deflation in no-till technology), *Zemledelie*, 2020b, Vol. 6, pp. 11–17.

4. Ermolaev N.R., Judin S.A., Belobrov V.P., Dridiger V.K., Gadzhumarov R.G., Identifikacija prjamogo poseva (no-till) po rastitel'nyh ostatkam na poverhnosti pochv pri ispol'zovanii mul'tivremennogo integral'nogo indeksa minNDTI (Identification of direct sowing (no-till) by plant residues on the soil surface using the multitemporal integral index minNDTI), *AgroJekoInfo*, 2021, Vol. 4, No. 46, pp. 1–14.

5. Ivanov A.L., Kulincev V.V., Dridiger V.K., Belobrov V.P., Osvoenie tehnologii prjamogo poseva na chernozemah Rossii (Mastering the technology of direct sowing on the chernozems of Russia), *Dostizhenija nauki i tehniki v APK*, 2021, Vol. 35, No. 4, pp. 8–16.

6. Kulincev V.V., *Sistema zemledelija novogo pokolenija Stavropol'skogo kraja* (Farming system of a new generation in the Stavropol Territory), Stavropol': AGRUS Stavropol'skogo gos. agrarnogo un-ta, 2013, 520 p.

7. Kholodov V.A., Jaroslavceva N.V., Farhodov Yu.R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Ajdiev A.Ja., Lazarev V.I., Frid A.S., Izmenenie sootnoshenija frakcij agregatov v gumusovyh gorizontah chernozemov v razlichnyh uslovijah zemlepol'zovanija (Changes in the ratio of aggregate fractions in the humus horizons of chernozems under different land use conditions), *Pochvovedenie*, 2019, No. 2, pp. 184–193.

8. Ivanov A.L., Shoba S.A. (Eds), *Edinyj gosudarstvennyj reestr pochvennyh resursov Rossii*. Versija 1.0 (Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0), Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, Tul-a: Grif i K, 2014, 768 p.

9. *Raspisanie pogody* (Weather schedule), URL: <https://rp5.ru/>.

10. Aguilar J., Evans R., Vigil M., Daughtry C.S.T., Remotely sensed estimates of crop residue cover for standing and flat wheat stubble, *Am. Soc. Agric. Biol. Eng. Annu. Int. Meet.*, 2012, Vol. 2, pp. 1610–1618.

11. Baker C.J., Saxton K.E., Ritchie W.R., Chamen W.C.T., Reicosky D.C., Ribeiro M.F.S., Justice S.E., Hobbs P.R., *No-tillage seeding in conservation agriculture: Second edition.*, 2006, 326 p.

12. Beeson P.C., Daughtry C.S.T., Wallander S.A., Estimates of conservation

tillage practices using landsat archive, *Remote Sens.*, 2020, Vol. 12, No. 16, pp. 1–18.

13. Chen Z., Chen W., Leblanc S.G., Henry G.H.R., Digital Photograph Analysis for measuring percent plant cover in the Arctic, *ARCTIC*, 2010, Vol. 63, No. 3.

14. Daughtry C.S.T., Hunt ER., Doraiswamy P. C., McMurtrey J.E., Remote sensing the spatial distribution of crop residues, *Agron. J.*, 2005, Vol. 97, No. 3, pp. 864–871.

15. Demarez V., Duthoit S., Baret F., Weiss M., Dedieu G., Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs, *Agric. For. Meteorol.*, 2008, Vol. 148, No. 4, pp. 644–655.

16. Dethier M.N., Graham E.S., Cohen S., Tear L.M., Visual versus random-point percent cover estimations: “objective” is not always better”, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1993, Vol. 96, No. 1, pp. 93–100.

17. Eskandari I., Navid H., Rangzan K., Evaluating spectral indices for determining conservation and conventional tillage systems in a vetch-wheat rotation, *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 2016, Vol. 4, No. 2, pp. 93–98.

18. Google Earth Engine. Earth Engine Data Catalog.

19. Hively W.D., Lamb B.T., Daughtry C.S.T., Shermeyer J., McCarty G.W., Quemada M., Mapping crop residue and tillage intensity using WorldView-3 satellite shortwave infrared residue indices, *Remote Sens.*, 2018, Vol. 10, No. 10, 1657.

20. Hofmann Strobl J., Blaschke T.P., A method for adopting global image segmentation methods to images of different resolutions, *International Archives of Photogrammetry*, 2008, pp. 343–349.

21. Hulet A., Roundy B.A., Petersen S.L., Jensen R.R., Bunting S.C., Cover estimations using object-based image analysis rule sets developed across multiple scales in Pinyon-Juniper Woodlands, *Rangel. Ecol. Manag.*, 2014, Vol. 67, No. 3, pp. 318–327.

22. Jin X., Ma J., Wen Z., Song K., Estimation of maize residue cover using Landsat-8 OLI image spectral information and textural features, *Remote Sens.* 2015, Vol. 7, No. 11, pp. 14559–14575.

23. Johnson J.M.F., Allmaras R.R., Reicosky D.C., Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database, *Agron. J.*, 2006, Vol. 98, No. 3, pp. 622–636.

24. Kiryushin V.I., Scientific prerequisites of optimization of land resources, *Vestn. Russ. Agric. Sci.*, 2019, No. 4, pp. 7–10.

25. Kruskal W.H., Wallis W.A., Use of ranks in one-criterion variance analysis, *J. Am. Stat. Assoc.*, 1952, Vol. 47, No. 260, 583 p.

26. Laamrani A., Joosse P., Feisthauer N., Determining the number of measurements required to estimate crop residue cover by different methods, *J.*

*Soil Water Conserv.*, 2017, Vol. 72, No. 5, pp. 471–479.

27. Li Y., Li Z., Cui S., Jagadamma S., Zhang Q. Residue retention and minimum tillage improve physical environment of the soil in croplands: A global meta-analysis, *Soil Tillage Res.*, 2019, Vol. 194, No. June, pp. 104–292.

28. McNairn H., Protz R., Mapping corn residue cover on agricultural fields in oxford county, ontario, using thematic mapper, *Can. J. Remote Sens.*, 1993, Vol. 19, No. 2, pp. 152–159.

29. Morrison Jnr J.E., Huang C.H., Lightle D.T., Daughtry C.S.T., Residue measurement techniques, *J. Soil Water Conserv.*, 1993, Vol. 48, No. 6, pp. 478–483.

30. Nagler P.L., Daughtry C.S.T., Goward S.N., Plant litter and soil reflectance, *Remote Sens. Environ.*, 2000, Vol. 71, pp. 207–215.

31. Najafi P., Navid H., Feizizadeh B., Eskandari I., Object-based satellite image analysis applied for crop residue estimating using Landsat OLI imagery, *Int. J. Remote Sens.*, 2018, Vol. 39, No. 19, pp. 6117–6136.

32. Najafi P., Navid H., Feizizadeh B., Eskandari I., Blaschke T., Fuzzy object-based image analysis methods using Sentinel-2A and Landsat-8 data to map and characterize soil surface residue, *Remote Sens.*, 2019, Vol. 11, No. 21, 2583.

33. Prudnikova E., Savin I., Vindeker G., Grubina P., Shishkonakova E., Sharychev D., Influence of soil background on spectral reflectance of winter wheat crop canopy, *Remote Sens.*, 2019, Vol. 11, No. 16, pp. 1–25.

34. Quemada M., Daughtry C., Spectral indices to improve crop residue cover estimation under varying moisture conditions, *Remote Sens.*, 2016, Vol. 8, No. 8, 660 p.

35. Scopel E., Triomphe B., Affholder F., Silva F.A.M.E. Da, Corbeels M., Xavier J.H.V., Lahmar R., Recous S., Bernoux M., Blanchart E., Carvalho Mendes I. De, Tourdonnet S. De., Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts, A review, *Agron. Sustain. Dev.*, 2013, Vol. 33, No. 1, pp. 113–130.

36. Sharma V., Irmak S., Kilic A., Sharma V., Gilley J.E., Meyer G.E., Knezevic S.Z., Marx D., Quantification and mapping of surface residue cover for maize and soybean fields in south central Nebraska, *Trans. ASABE*, 2016, Vol. 59, No. 3, pp. 925–939.

37. Shelton D.P., Estimating percent residue cover using the line-transect method, *Eng. Ext. Agric*, 2009, No. January, pp. 1–3.

38. Shelton D.P., Estimating percent residue cover using the calculation method, *Hist. Mater. from Univ. Nebraska-Lincoln Ext.*, 1995, No. January, pp. 1–3.

39. South S., Qi J., Lusch D.P., Optimal classification methods for mapping

- agricultural tillage practices, *Remote Sens. Environ.*, 2004, Vol. 91, No. 1, pp. 90–97.
40. Sullivan D.G., Lee D., Beasley J., Brown S., Williams E.J., Evaluating a crop residue cover index for determining tillage regime in a cotton-corn-peanut rotation, *J. Soil Water Conserv.*, 2008, Vol. 63, No. 1, pp. 28–36.
41. Tucker C.J., Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sens. Environ.*, 1979, Vol. 8, No. 2, pp. 127–150.
42. Vanha-Majamaa I., Salemaa M., Tuominen S., Mikkola K., Digitized photographs in vegetation analysis – a comparison of cover estimates, *Appl. Veg. Sci.*, 2000, Vol. 3, No. 1, pp. 89–94.
43. Weiss M., Jacob F., Duveiller G., Remote sensing for agricultural applications: A meta-review, *Remote Sens. Environ.*, 2020, Vol. 236, 111402.
44. Wit A.R.V. De., A dataset of spectral and biophysical measurements over Russian wheat fields, *Open Data J. Agric. Res.*, 2018, Vol. 4, pp. 22–27.
45. Zhang P., Wei T., Jia Z., Han Q., Ren X., Li Y., Effects of straw incorporation on soil organic matter and soil water-stable aggregates content in semiarid regions of Northwest China, *PLoS One*, 2014, Vol. 9, No. 3, e92839.
46. Zheng B., Campbell J.B., Serbin G., Daughtry C.S.T., Multitemporal remote sensing of crop residue cover and tillage practices: A validation of the minNDTI strategy in the United States, *J. Soil Water Conserv.*, 2013a, Vol. 68, No. 2, pp. 120–131.
47. Zheng B., Campbell J.B., Beurs K.M. de, Remote sensing of crop residue cover using multi-temporal Landsat imagery, *Remote Sens. Environ.*, 2012, Vol. 117, pp. 177–183.
48. Zheng B., Campbell J.B., Shao Y., Wynne R.H., Broad-scale monitoring of tillage practices using sequential Landsat imagery, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2013b, Vol. 77, No. 5, pp. 1755–1764.