

## СТАТЬЯ

УДК 631.4(470.44)

DOI 10.17513/use.38397

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ TASSELED CAP В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ  
ВЕГЕТАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
КУЛЬТУР НА ПОЛЯХ САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ****<sup>1</sup>Косарев А.В., <sup>1</sup>Чумакова С.В., <sup>1</sup>Перетьяко А.В., <sup>1</sup>Колганов Д.А.,  
<sup>2</sup>Симонова З.А., <sup>2</sup>Атаманова О.В., <sup>1</sup>Моршнев А.Ю.**<sup>1</sup>*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики,  
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», Саратов;*<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.», Саратов, e-mail: aleteia@inbox.ru*

Цель работы – оценка вегетационной активности сельскохозяйственных полей Ровенского района Саратовской области с помощью преобразования tasseled cap. Объектом исследования являются почвы полей, расположенных вблизи пос. Краснополье Ровенского района Саратовской области. Данные о влажности почвы и о значениях вегетационных индексов относились к периоду с 01 июля по 01 августа 2024 г. В качестве исходных материалов для задач дистанционного зондирования применялись мультиспектральные снимки, полученные спутником Landsat 8. Обработка космоснимков и картографирование полученного материала проводились с помощью программного комплекса QGIS (версия 3.28.0). Построение картограмм и расчет частотных гистограмм для главных компонент преобразования tasseled cap проводились с помощью программы SAGA GIS (версия 9.2.0). Построены картограммы распределения трех главных компонент Greenness, Brightness и Wetness, расположенных внутри периметра изучаемой территории, где находятся сельскохозяйственные угодья, различающиеся по фазе развития растений. При этом имеются как поля с открытой почвой, так и поля, занятые сельскохозяйственными культурами в разных фазах вегетации, при которых присутствуют зрелая, перезревшая, увядающая формы сельскохозяйственной продукции, а также открытая почва, различающаяся по яркости. Установлено, что территория изучаемых сельскохозяйственных угодий обладает неоднородностью в отношении вегетационной активности и представлена как участками с открытым почвенным слоем разного состава и влагосодержания, так и растениями, находящимися в разных фазах вегетационного процесса: зрелая, перезревшая, увядающая формы сельскохозяйственной продукции. Данное агроценоотическое разнообразие связано с проводимыми на территории данных сельскохозяйственных угодий мелиоративными мероприятиями. Эффективность главных компонент преобразования tasseled cap в отношении степени открытости почвы полей снижается в следующем порядке: Greenness – Wetness – Brightness.

**Ключевые слова:** метод главных компонент, преобразование tasseled cap, вегетация, сельскохозяйственные угодья, Саратовская область

**THE INFLUENCE OF ARIDITY ON THE DISTRIBUTION  
OF SURFACE TEMPERATURE OF AGRICULTURAL  
FIELDS IN THE SARATOV REGION****<sup>1</sup>Kosarev A.V., <sup>1</sup>Chumakova S.V., <sup>1</sup>Peretyatko A.V., <sup>1</sup>Kolganov D.A.,  
<sup>2</sup>Simonova Z.A., <sup>2</sup>Atamanova O.V., <sup>1</sup>Morshnev A.Yu.**<sup>1</sup>*Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering  
named after N.I. Vavilov, Saratov;*<sup>2</sup>*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, e-mail: aleteia@inbox.ru*

The purpose of the work was to assess the vegetation activity of agricultural fields in the Rivne district of the Saratov region using the “tasseled cap” transformation. Materials and methods. The object of the research is the soils of fields located near the village of Krasnopolye, Rivne district, Saratov region. Data on soil moisture and vegetation index values were used as of July 2024. Satellite images were processed, and the resulting material was mapped using the QGIS software package (version 3.28.0). The cartograms and frequency histograms for the main components of the tasseled cap transformation were constructed using the SAGA GIS program (version 9.2.0). Results and discussion. Cartograms of the distribution of the three main components “Greenness”, “Brightness” and “Wetness” located inside the perimeter of the study area are constructed. In the study area, there are agricultural lands that differ in the phenophase of plant development, while there are both fields with open soil and fields occupied by agricultural crops in different phases of the growing season, in which there are mature, overripe, wilting forms of agricultural products, as well as open soil, differing in brightness. Conclusion. It has been established that the territory of the studied agricultural lands has heterogeneity in terms of vegetation activity and is represented both by areas with an open soil layer of different composition and moisture content, and by plants that are in different phases of the vegetation process: mature, overripe, fading forms of agricultural products. This agroecoenotic diversity is associated with the reclamation measures carried out on the territory of these agricultural lands. The effectiveness of the main components of the tasseled cap transform in terms of soil openness degree of fields decreases in the following order: “Greenness” – “Wetness” – “Brightness”.

**Keywords:** principal component method, tasseled cap transformation, vegetation, agricultural land, Saratov region

### Введение

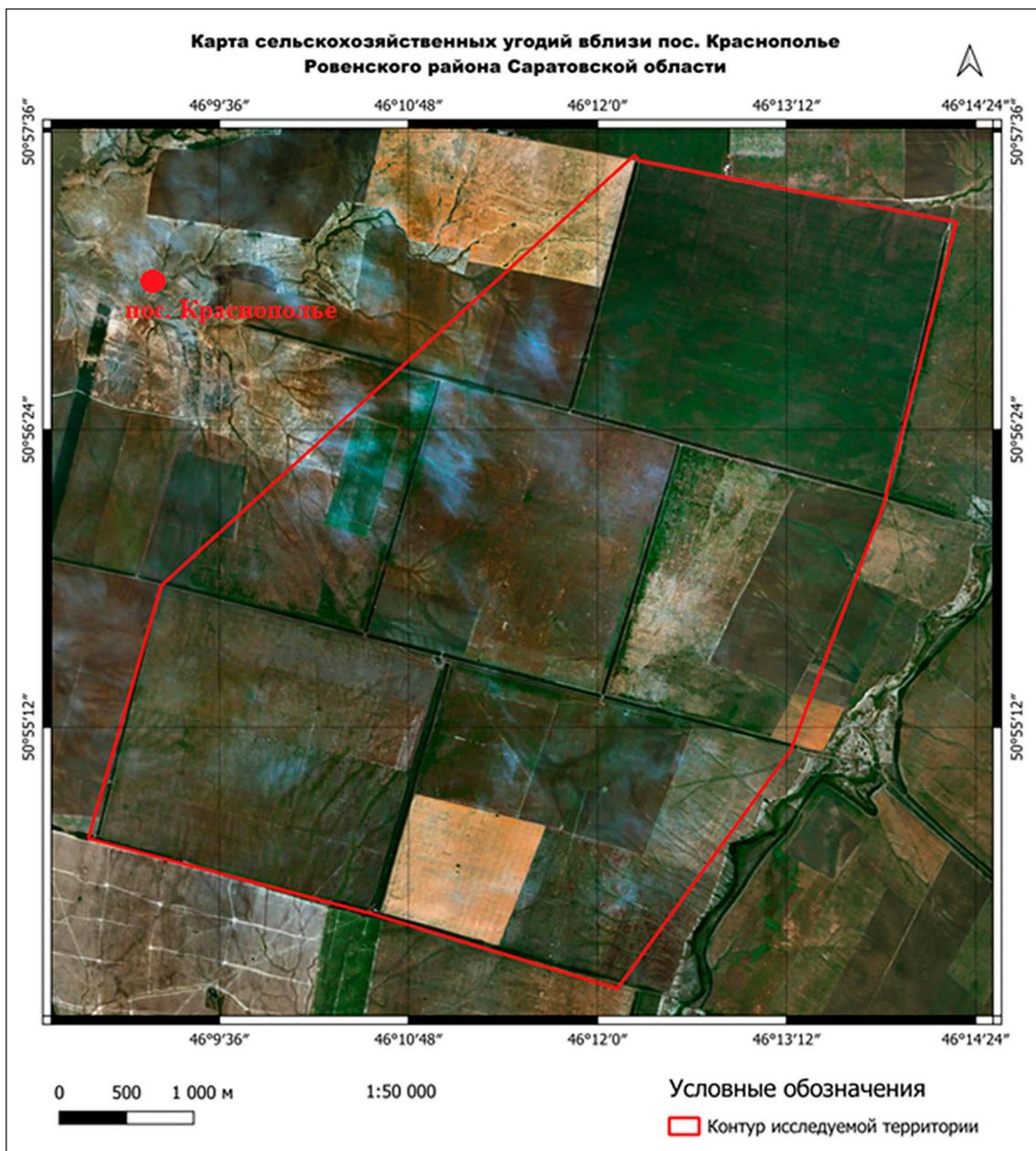
Цифровое земледелие с применением геоинформационных технологий в настоящее время является одним из перспективных направлений агрономии и агротехники. Это связано с тем, что данный инструмент позволяет дистанционно и бесплатно получать необходимую информацию для агротехнологического планирования, оценок влагообеспеченности, оптимальных сроков и объема сельскохозяйственных работ, а также создания условий для получения урожая [1, 2]. Интересными объектами сельскохозяйственной геоинформатики являются почвенная линия и преобразование tasseled cap (ТС). Почвенная линия характеризует отражательную способность почвы в различных спектральных диапазонах, из которых самыми информативными являются красная и ближняя инфракрасная части спектра, зависящие от фотосинтетической активности хлорофилла в вегетационном процессе. Это позволяет отличать спектральные свойства почвы от растительности, а также выявлять разные фазы вегетационной активности сельскохозяйственных культур вплоть до зрелой и перезревшей форм урожая. Выделение спектральной окрестности линии почв позволяет исследовать интенсивность землепользования и степень деградации сельскохозяйственных угодий [3]. Различие в отражательной способности открытой почвы и фотосинтетической биомассы растений задается треугольным множеством точек в RED-NIR спектральном диапазоне, получаемом в результате преобразования мультиспектрального космоснимка с помощью модели ТС [4]. Это преобразование позволяет получить три составляющие: «яркость» (Brightness), «зеленость» (Greeness) и «влажность» (Wetness), которые хорошо согласованы между собой при различении типов земельного покрова и отслеживания сезонных колебаний поверхности [5]. Рассчитанный в этом преобразовании показатель «влажность» чувствителен к водоемам и растительности, даже для многоспектральных данных, в которых отсутствует чувствительный к влаге коротковолновый инфракрасный (SWIR) диапазон [6]. Кроме того, известно, что сочетание компонент «яркость» и «зеленость» эффективно в задаче классификации при различении объектов растительного и нерастительного происхождения [7]. Показано, что на совокупностях получен-

ных спектральных значений отражательной активности в RED и NIR диапазонах в течение 30 лет на одном и том же типе мультиспектральных снимков ДЗЗ можно провести преобразование ТС не только для определенного снимка, но и для каждого его пикселя [8]. Еще одним достоинством преобразования ТС является его применимость в задаче классификации растительных объектов, при которой достигается качественное спектральное разделение признаков, не проявляющихся на необработанном изображении [9]. Метод классификации объектов на основе tasseled cap полезен при обновлении географической базы данных водных объектов и в управлении водными ресурсами, так как минимизирует влияние теней, техногенных объектов и наземной растительности [10]. Применение нейросетевых технологий к анализу почвенной линии позволяет вскрыть распространение высококонтрастных структур почвенного покрова на больших территориях с детальностью систем точного земледелия на значительных площадях с высокой точностью [11]. Разработанная на основе обсуждаемого подхода модель демидатных пикселей позволяет на основе спектральных данных остатков озимой пшеницы на сухом и влажном фоне почвы оценивать продуктивность данной культуры [12]. Применение подходов ДЗЗ на основе оценки спектральной яркости почв позволяет повысить эффективность мониторинга рационального землепользования, что является одной из ключевых задач обеспечения устойчивого развития аграрно-промышленного комплекса [13].

**Цель исследования** – с помощью преобразования tasseled cap оценить вегетационную активность сельскохозяйственных полей Ровенского района Саратовской области.

Для достижения поставленной цели авторами решены следующие задачи:

- а) на основе каналов В2–В7 мультиспектральных снимков Landsat 8–9 построить картограммы трех составляющих преобразования для исследуемой территории: Brightness, Greeness и Wetness;
- б) построить диаграммы зависимостей Greeness vs Brightness; Wetness vs Brightness; Greeness vs Wetness; NIR (B5) vs RED (B4);
- в) установить взаимосвязь между вегетационной активностью сельскохозяйственных культур на рассматриваемой территории и главными компонентами ТС на изучаемой территории.



*Рис. 1. Карта сельскохозяйственных угодий вблизи пос. Краснополье  
Ровенского района Саратовской области  
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования*

### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследований являлись почвы полей, расположенных вблизи пос. Краснополье Ровенского района Саратовской области общей площадью 3880 га, что показано на рисунке 1.

В качестве исходных материалов для задач дистанционного зондирования авторами применялись мультисканальные снимки, полученные спутником Landsat 8–9. Обработка данных SRTM и картографиро-

вание полученного материала проводилось с помощью программного комплекса QGIS (версия 3.28.0). В качестве исходных материалов для задач дистанционного зондирования авторами применялись мультисканальные снимки, полученные из геоинформационного каталога [14].

Мультисканальные космоснимки относились к периоду с 01 июля по 01 августа 2024 г. Преобразование изображения ТС представляет собой изменение мультиспек-

тральных данных ДДЗ путем линейной трансформации спектра отражения космоснимков. Они обладают высокой информативностью при дешифрировании природных объектов, в частности при изучении фенологической стадии развития сельскохозяйственных культур. Вычисление коэффициентов трансформации изображения ТС основано на методе главных компонент преобразования спектральных космических снимков, сводящемся к алгоритму машинного обучения, применяемому для

выявления наиболее информативных признаков данных дистанционного зондирования. Для реализации этого алгоритма применялись 6 из 11 каналов мультиспектрального космоснимка: синий В2 (450–515 нм), зеленый В3 (525–600 нм), красный В4 (630–680 нм), ближний ИК (NIR) В5 (845–885 нм), ближний ИК (SWIR2) В6 (1560–1660 нм), ближний ИК (SWIR3), В7 (2100–2300 нм). С применением линейной комбинации этих данных авторами рассчитывались три компоненты преобразования ТС:

а) Brightness («яркость»), характеризующая отражательную способность почвы, по формуле

$$\text{Brightness} = 0,3037B2 + 0,2793B3 + 0,4743B4 + 0,5585B5 + 0,5082B6 + 0,1863B7; \quad (1)$$

б) Greeness («зеленость»), характеризующая вегетационную активность растений, по формуле

$$\text{Greeness} = -0,2941B2 - 0,243B3 - 0,5444B4 + 0,7276B5 + 0,0713B6 - 0,1608B7; \quad (2)$$

в) Wetness («влажность»), характеризующая взаимодействие почвенной влаги с растительным покровом, по формуле

$$\text{Wetness} = 0,1511B2 + 0,1973B3 + 0,3283B4 + 0,3407B5 - 0,7117B6 - 0,4559B7. \quad (3)$$

Дополнительно был рассчитан EVI (enhanced vegetation index):

$$\text{EVI} = 2,5 \cdot \frac{B5 - B4}{B5 + 6B4 - 7,5B2 + 1}. \quad (4)$$

Картограммы трех составляющих преобразования ТС для исследуемой территории: Brightness, Greeness и Wetness (рис. 2) и индекса EVI, а также диаграммы преобразования ТС: Greeness vs Brightness; Wetness vs Brightness; Greeness vs Wetness; NIR (B5) vs RED (B4) (рис. 3, 4) проведены в программе SAGA GIS (версия 9.2.0).

#### Результаты исследования и их обсуждение

Авторами рассчитаны картограммы распределения трех главных компонент Greeness, Brightness и Wetness (рис. 2), расположенных внутри периметра изучаемой территории. Представленная на рис. 2, а, компонента Greeness содержит участки коричневой и зеленой окраски. Коричневые участки соответствуют открытой почве, включающей минералы, а также техногенные объекты.

При этом чем меньше растительности имеется на участке, тем выше его коричневая окраска. Зеленая компонента обусловлена наличием растительного покрова и связана с его вегетационной активностью. При

этом с увеличением фотосинтезирующей биомассы растений интенсивность зеленой окраски компоненты Greeness возрастает. Таким образом, на изучаемой территории находятся сельскохозяйственные угодья, различающиеся по фенофазе развития растений, при этом имеются как поля с открытой почвой, так и поля, занятые сельскохозяйственными культурами в разных фазах вегетации. Этот характер распределения растительности на исследуемой территории находит соответствие с распределением компоненты Wetness, определяющей влажность объекта (рис. 2, б). Оранжевая окраска соответствует территориям с оголенной почвой, сине-фиолетовая – территориям, занятым растительностью. Насыщенность оранжевой окраски возрастает с увеличением яркости открытой почвы, что связано со снижением влагосодержания в ней. Компонента Brightness (рис. 2, в), отражающая яркость поверхности, отображена с помощью черно-белого градиента, при этом увеличение интенсивности темной окраски возрастает с увеличением степени открытости почвенного покрова.

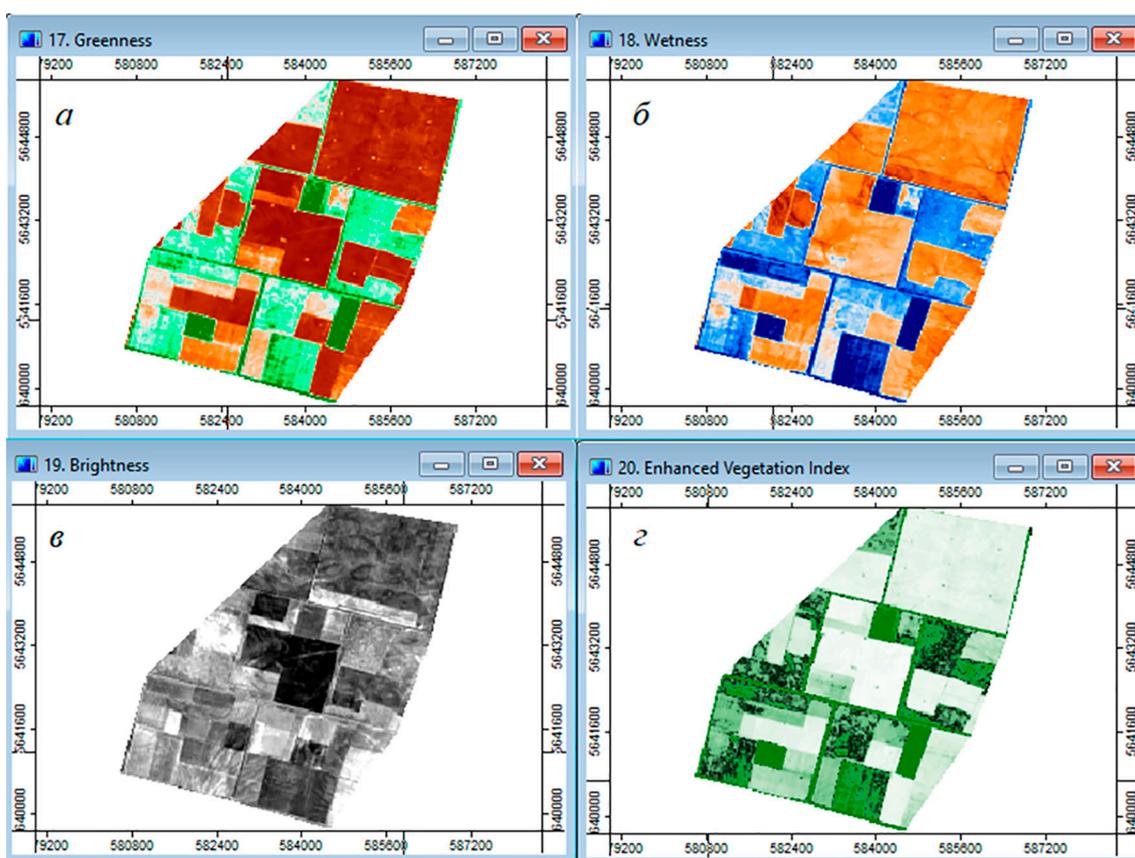


Рис. 2. Результат преобразования ТС для изучаемой территории  
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Для повышения эффективности выделения вклада растительности в общую картину яркости исследуемой территории авторы применяли индекс EVI (рис. 2, г). Для коррекции почвенного фона в спектре отражения как густой, так и разреженной растительности использовался синий спектральный диапазон.

Результаты преобразования ТС в форме диаграмм рассеяния отражательной способности поверхности относительно почвенной линии в разных парах координат представлены на рис. 3, а–г. Данные диаграммы структурно представляют собой множество точек почвенной линии, находящейся в нижней части диаграммы. В этой же области незначительно выше находится желто-оранжевая область, соответствующая биомассе сельскохозяйственной продукции темного цвета. От линии почвы вверх распределяются рассеянные точки вегетации, соответствующие фотосинтетической биомассе растений. Желто-оранжевая область в центре соответствует перезревшей и увядающей формам урожая. Левому нижнему углу диаграммы Greenness

vs Brightness соответствует вода, правому нижнему углу – открытая почва. Максимальная вегетационная активность соответствует верхнему углу диаграммы.

Итак, соотношения между спектральными яркостями почвы и вегетации определяются направлениями почвенной и вегетационной линий (рис. 4). Рассматриваемая система сельскохозяйственных угодий обладает высокой вегетационной активностью, связанной с фотосинтезирующей биомассой. В этой системе присутствуют зрелая, перезревшая, увядающая формы сельскохозяйственной продукции, а также открытая почва, различающаяся по яркости. Данный факт может быть связан с проводимыми мелiorативными мероприятиями.

Насыщенность сине-фиолетовой окраски соответствует увеличению фотосинтетической биомассы на данной территории. Компонента Brightness, характеризующая яркость, не позволяет детализированно классифицировать открытую почву от покрытых растительностью участков, так как характеризует лишь обобщенную отражательную способность (альбедо) поверхностей.

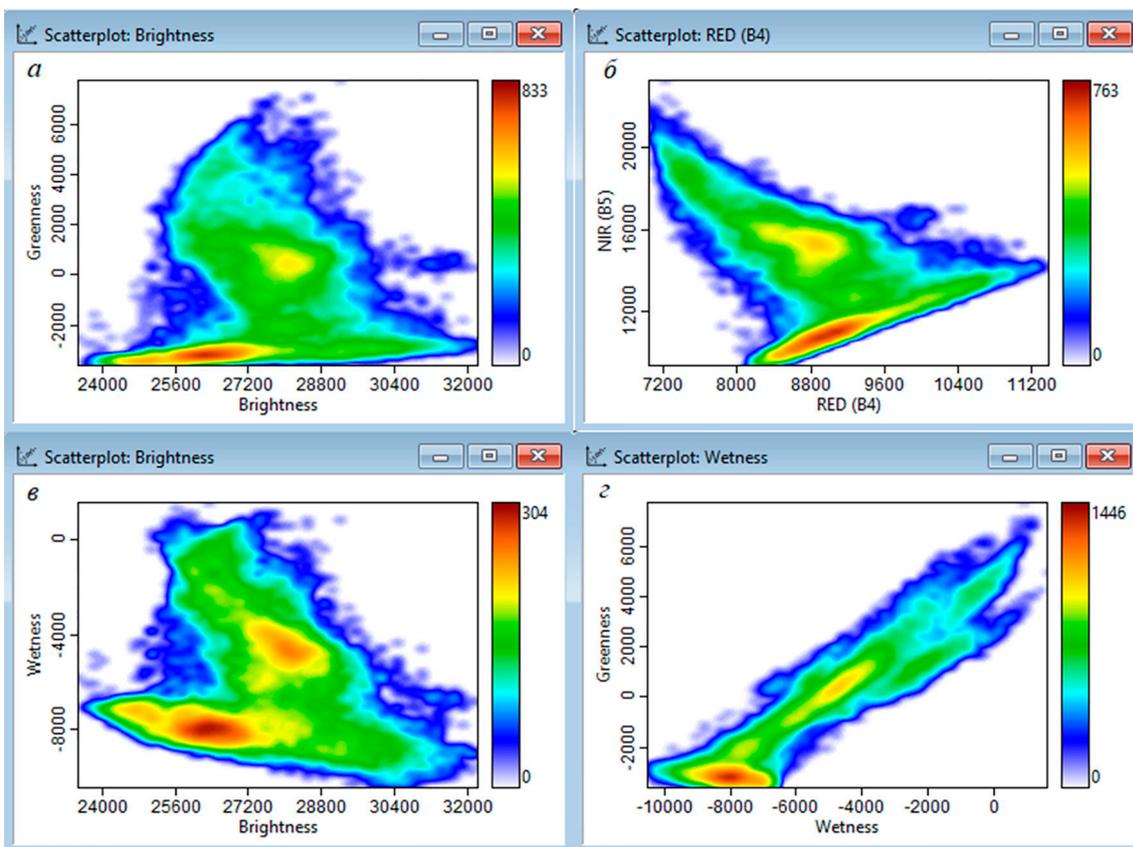


Рис. 3. Результат преобразования ТС для изучаемой территории. Двухмерные диаграммы рассеяния, показывающие взаимосвязь коэффициентов главных компонент по данным Landsat 8–9: а) Greenness vs Brightness; б) NIR (B5) vs RED (B4); в) Wetness vs Brightness; г) Greenness vs Wetness  
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

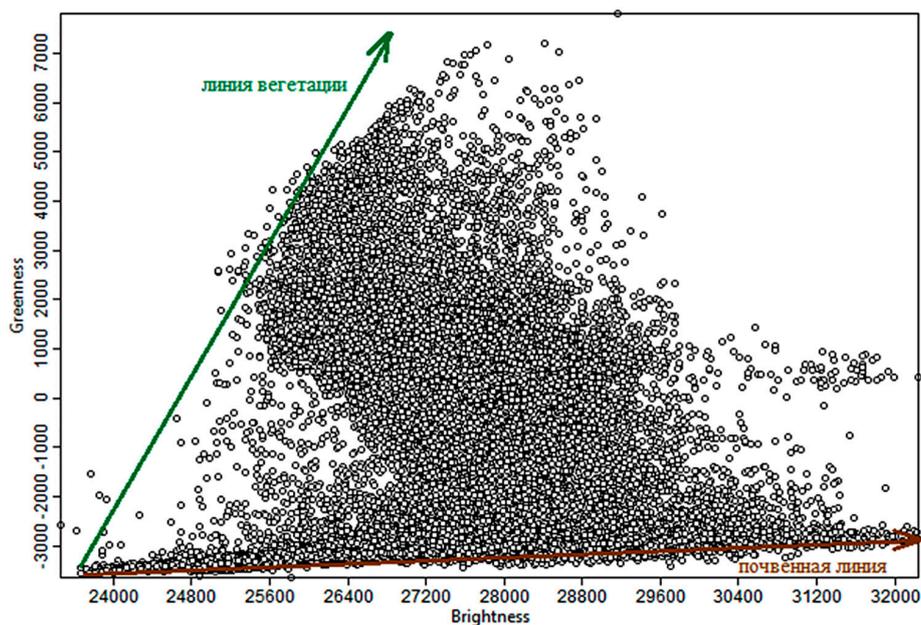


Рис. 4. Направления почвенной линии и линии вегетации на диаграмме преобразования ТС для изучаемой территории в координатах Greenness vs Brightness  
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

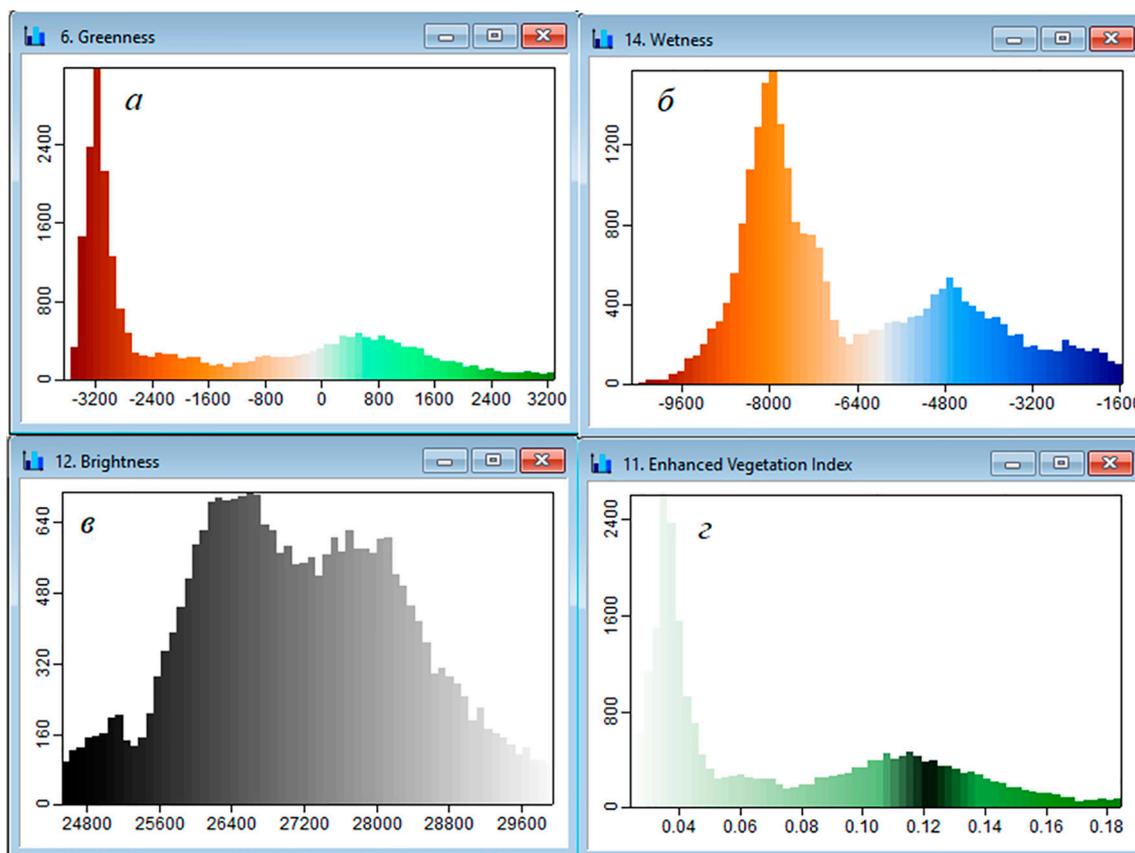


Рис. 5. Частотные гистограммы распределения значений компонент преобразования ТС и индекса EVI для изучаемой территории  
 Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Отражательная способность открытой почвы и почвы, занятой растительностью, соответствуют друг другу, так как они могут иметь приблизительно одинаковую яркость. Это может быть вызвано светлой окраской участков почв, разреженной растительностью, открывающей подстилающий почвенный покров, и другими факторами. За счет этого участки на картограмме Brightness с явно выраженной растительностью смешиваются по уровню яркости с участками открытой почвы.

Для оценки уровня эффективности для классификации открытого почвенного покрова от почвы, занятой сельскохозяйственной продукцией, авторами рассчитывались частотные гистограммы распределения значений компонент преобразования ТС и индекса EVI (рис. 5).

Распределение EVI по структуре в значительной степени соответствует тренду распределения компонента Greenness, что может объясняться одной и той же задачей обеих величин – регистрацией зеленой составляющей спектра отражения растений

в ходе вегетационного процесса. При этом обе гистограммы имеют четкий максимум, соответствующий отражению открытой почвы, и последующий за ним участок спектра отражения растительности. В отличие от них гистограмма яркости Brightness не имеет выраженной дифференциации в разных участках области определения и наименьшим образом подходит для классификации участков сельскохозяйственных угодий по степени открытости почвы. Гистограмма частотного распределения компонента Wetness имеет более выраженную дифференциацию на своей области определения, чем компонента Brightness, но меньшую, чем компонента Greenness и индекс EVI. Таким образом, эффективность главных компонент преобразования ТС в отношении классификации открытости почвы полей снижается в следующем порядке: Greenness – Wetness – Brightness.

#### Заключение

Применение преобразования tasseled cap к мультиспектральным космоснимкам

сельскохозяйственных территорий вблизи пос. Краснополье Ровенского района Саратовской области выявило неоднородность данного агроценоза, характеризующуюся мозаикой участков с различной степенью вегетационной активности. Это проявляется в наличии открытого почвенного слоя с различными характеристиками, а также сельскохозяйственных культур, находящихся на разных стадиях развития, от зрелой до увядающей. Выявленная неоднородность может являться следствием проводимых на данной территории мелиоративных мероприятий.

Эффективность главных компонент преобразования tasseled cap в отношении классификации открытости почвы полей снижается в следующем порядке: Greeness – Wetness – Brightness. Планирование комплекса агротехнических мероприятий на основе геоинформационных технологий с применением преобразования tasseled cap позволяет улучшить процессы мелиорации с обеспечением устойчивого развития агроценоза.

#### Список литературы

1. Пашков С.В., Мажитова Г.З. Разработка геоинформационного обеспечения для агроландшафтного проектирования на уровне сельскохозяйственного предприятия // Географический вестник. 2022. № 4 (63). С. 167–179. DOI: 10.17072/2079-7877-2022-4-167-179.
2. Латкин В.А. Применение цифровых технологий для определения свойств растительного покрова в сельском хозяйстве // Геодезия и картография. 2023. № 4. С. 20–27. DOI: 10.22389/0016-7126-2023-994-4-20-27.
3. Рухович Д.И., Рухович А.Д., Рухович Д.Д., Си-макова М.С., Куляница А.Л., Королева П.В. Применение технологии спектральной окрестности линии почв для анализа интенсивности использования почвенного покрова в 1985–2014 гг. (на примере трех районов Тульской области) // Почвоведение. 2018. № 3. С. 357–371. DOI: 10.7868/S0032180X18030103.
4. Kauth R.J., Thomas G.S. The Tasselled-Cap – A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat // Proceedings, Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Purdue University. West Lafayette. IN. 29 June-1 July 1976. P. 41–51. URL: [https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1160&context=lars\\_symp](https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1160&context=lars_symp) (дата обращения: 15.04.2025).
5. Zhai Y., Roy D.P., Martins V.S., Zhang H.K., Yan L., Li Zh. Conterminous United States Landsat-8 top of atmosphere and surface reflectance tasseled cap transformation coefficients // Remote Sensing of Environment. 2022. Vol. 274. P. 112992. DOI: 10.1016/j.rse.2022.112992.
6. Wei Yu., Chen Yi., Wang Ji., Peiheng Yu., Xu Lu, Zhang Chi, Shen H., Liu Y., Zhang G. Mapping soil organic carbon in fragmented agricultural landscapes: The efficacy and interpretability of multi-category remote sensing variables // Journal of Integrative Agriculture. 2025. DOI: 10.1016/j.jia.2025.02.049.
7. Liu Q., Huang Ch., Li H. Mapping plant communities within quasi-circular vegetation patches using tasseled cap brightness, greenness, and topsoil grain size index derived from gf-1 imagery // Earth Science Informatics. 2021. Т. 14. № 2. P. 975–984. DOI: 10.1007/s12145-021-00608-3.
8. Rukhovich D., Koroleva P., Rukhovich A., Komissarov M. A detailed mapping of soil organic matter content in arable land based on the multitemporal soil line coefficients and neural network filtering of big remote sensing data // Geoderma. 2024. Vol. 447. 116941. DOI: 10.1016/j.geoderma.2024.116941.
9. Shnain S. Features extraction of Landsat 7 images using tasseled cap transformation // Journal of Al-Rafidain University College For Sciences. 2021. № 1. P. 215–222. DOI: 10.55562/jruacs.v48i1.48.
10. Chen Ch., Chen H., Liang J., Huang W., Xu W., Li B., Wang J. Extraction of water body information from remote sensing imagery while considering greenness and wetness based on tasseled cap transformation // Remote Sensing. 2022. Vol. 14, Is. 13. P. 3001. DOI: 10.3390/rs14133001.
11. Рухович Д.И., Шаповалов Д.А., Королева П.В. Детектирование геологически контрастных структур почвенного покрова пахотных угодий при нейросетевой фильтрации больших данных дистанционного зондирования // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 4 (400). С. 364–367. URL: [https://mshj.ru/wp-content/uploads/2024/09/MSHJ\\_2024\\_4\\_text\\_p-364-367.pdf](https://mshj.ru/wp-content/uploads/2024/09/MSHJ_2024_4_text_p-364-367.pdf) (дата обращения: 17.01.2025).
12. Yao Y., Ren H., Liu Y. Remote sensing estimation of winter wheat residue cover with dry and wet soil background // Agricultural Water Management. 2025. Vol. 307. P. 109227. DOI: 10.1016/j.agwat.2024.109227.
13. Ефимова Г.А., Мкртчян Л.А. Применение данных дистанционного зондирования Земли в системе регулирования земельных отношений // International Agricultural Journal. 2024. Т. 67. № 5. С. 1. EDN: AGFILO.
14. USGS. Science for changing world. [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 15.03.2025).