

УДК 528.88

Использование индексов вегетации в почвенно-ландшафтом картографировании и агроэкологической оценке

Прохоров А.А., Агеев К.Д., Горячев К.С.

Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева

Аннотация

В рамках работы произведена оценка возможностей использования данных дистанционного зондирования для уточнения контуров почвенных разностей. Было установлено, что визуализация среднесуточных индексов вегетации NDVI позволяет уточнять актуальную информацию о контурах зон продуктивности. Использование данного подхода позволяет уточнять границы почвенных разностей и идентифицировать актуальные границы литогенных земель с разной продуктивностью. Установлено, что среднесуточный показатель NDVI в линейной модели связан с содержанием физической глины, при $R^2=0.26$, наибольшие значения NDVI отмечаются на почвах среднесуглинистого и тяжелосуглинистого состава в условиях избыточного увлажнения предгорной территории Краснодарского края со среднесуточным количеством осадков более 850 мм.

Ключевые слова: ИНДЕКСЫ ВЕГЕТАЦИИ, ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕМЕЛЬ, АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Введение

Использование индексных методов позволяет получать дополнительную информацию о почве как об объекте исследования, а также позволяет производить формализацию оценок [1]. В рамках данной работы был использован подход, в основе которого лежит анализ и выделение зон продуктивности при построении среднесуточных картограмм интенсивности вегетации с использованием вегетационного индекса NDVI [2]. На сегодняшний день широко распространены

регрессионные модели, устанавливающие функциональные связи между спектральными характеристиками данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и свойствами почв. Имитационное и регрессионное моделирование имеет существенный недостаток – моделируется один процесс или фактор. Точность модели оценивается по одному моделируемому параметру. Реальное сельскохозяйственное поле очень редко можно описать однофакторной моделью [2].

Объекты и методы

Образцы почв были отобраны в рамках проведения почвенно-ландшафтного обследования территории предприятия в Мостовском районе Краснодарского края (п. Беноково). Агроэкологические группы почв представлены – плакорной группой – черноземы выщелоченные, эрозионной группой – черноземы выщелоченные различной степени смывости, слабополугидроморфной группой – луговато-черноземные почвы, литогенной группой – черноземы неполноразвитые [3]. Исследуемая территория в Мостовском районе Краснодарского края с точки зрения макрорельефа относится к типу предгорных преимущественно элювиально-делювиальных равнин, в основном включает в себя крупные массивы склонов и поверхностей с уклоном до 1°. Комплекс типов мезорельефа включает в себя ландшафтные катены с перепадами высот до 50 м. При этом геоморфологические условия очень неоднородны, участки расчленены сетью ложин, а также приурочены к склонам различной крутизны и экспозиции. Учитывая литологическое строение, а также особенности проявления процессов гидроморфизма и водной (плоскостной и русловой) эрозии, согласно природно-сельскохозяйственному районированию СССР, территория относится к волнисто-увалистым глинистым и суглинистым, местами щебневатым равнинам, наклонной и слабонаклонной части левокубанской аллювиальной и делювиальной равнины [3].

Водораздельные поверхности занимают около 20% площади и имеют уклон до 1°, реже 1-2°. Частично встречаются элементы микрорельефа: микропонижения, западины и ложбинообразные понижения.

Основную площадь занимают участки, расположенные на склоновых территориях и шлейфах склонов. Склоновые территории с уклонами 2-3° и 3-5° приурочены к западному и северо-западному массиву исследуемых площадок.

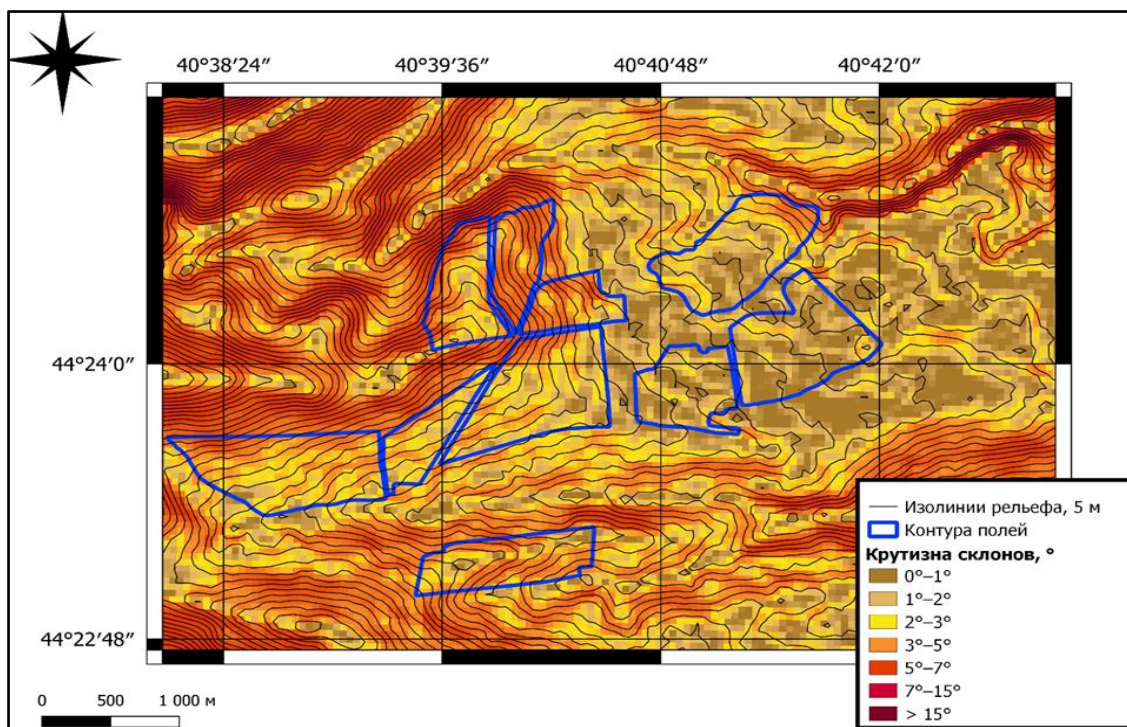


Рис. 1. Картограмма крутизны склонов

Территория расположена в умеренном климатическом поясе с умеренно континентальным типом климата. Основным фактором, обуславливающим особенность климата, является локализация в передгорной местности и близость Черного моря, что существенно сказывается на количестве выпадающих осадков, в среднем и 850–1000 мм [4, 5].

Годовая амплитуда температур составляет в среднем 23°C, достигая в некоторые годы 28°C [4]. Абсолютный максимум температуры достигает +37,1°C, абсолютный минимум -24,1°C по многолетним данным. Многолетняя максимальная среднесуточная температура составляет +29,4°C, наименьшая -19,3°C по данным за период 2010–2023 гг. [5].

Согласно многолетним данным (2010–2023 гг.) за год в среднем выпадает на территории 820 мм осадков. Количество осадков за год варьирует от 415 мм (2020 г.) до 1039 мм (2021 г.) Средний многолетний показатель ГТК по [5] соответствует величине 1,5 ед. в предгорьях, что характеризует данную территорию как избыточно увлажненную. ГТК неустойчив и варьирует из года в год, изменяясь за последние 13 лет в широком диапазоне от 0,83 до 2,11.

Почвообразующие породы на исследуемой территории объединяются в следующие группы:

1. Делювиальные;
2. Элювиальные.

Делювиальные суглинки и глины сформированы на склоновых землях в Мостовском районе за счет процессов плоскостного смыва и переотложения твердофазных продуктов почвообразования. Почвы, сформированные на них, хуже оструктурены, относительно черноземов, сформированных на лёссовидных суглинках и глинах. На исследуемой территории представлены в основном в западной части на склоновых землях и шлейфах склонов.

Элювиальные отложения характеризуются большей степенью однородности и сортированностью материала. Распространены в западном массиве полей на площадке в Мостовском районе. На элювии известняков формируются неполноразвитые черноземы литогенной агроэкологической группы [3] с мощностью гумусового горизонта 35–40 см переходящего в горизонт ВС, в восточной же части на пологих водораздельных поверхностях на элювиально-делювиальных отложениях тяжелого механического состава формируются легкоглинистые слитые черноземы.

Благодаря высокому содержанию мелкой и средней пыли, а также частиц ила, элювиальные суглинки и глины характеризуются тонкопористым сложением, обладают низкой водопроницаемостью, за счет процесса закупоривания пор.

Расчёт морфометрических показателей произведен с использованием данных SRTM-Global с разрешением 30 м полученным с помощью облачной платформы Google earth engine. Данные цифровой модели местности были преобразованы в ЦМР с использованием QGIS v. 3.16 На основании ЦМР проведен морфометрический анализ и привязка точек и полигонов по картограммам крутизны и экспозиции склонов. При анализе также использовали данные о высотных отметках территории.

Используя данные набора «Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-1C» были построены картограммы среднесноголетнего показателя NDVI на участках с привязкой к полигонам и точкам, по которым производился отбор проб и лабораторные измерения содержания физической глины. Мозаики растровых картограмм по среднесноголетним показателям были построены по следующей схеме:

Набор снимков предоставляет спутниковые данные с пространственным разрешением 10 м и временным 01.01.2015-01.02.2024; фильтрация и формирование растра произведены с помощью облачной платформы GEE.

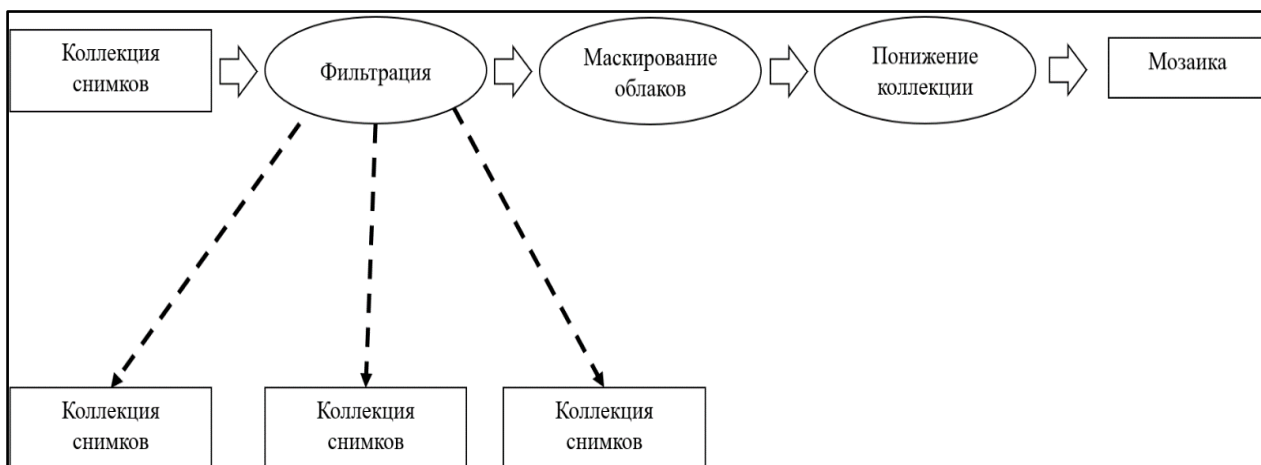


Рис. 2. Схема фильтрации спутниковых снимков для формирования композита

Расчёт NDVI производился по формуле:

$$NDVI = \frac{Nir - Red}{Nir + Red}$$

На рис. 3 представлен пример итогового растрового изображения на основании отбора 47 спутниковых снимков, удовлетворяющих условиям фильтрации.

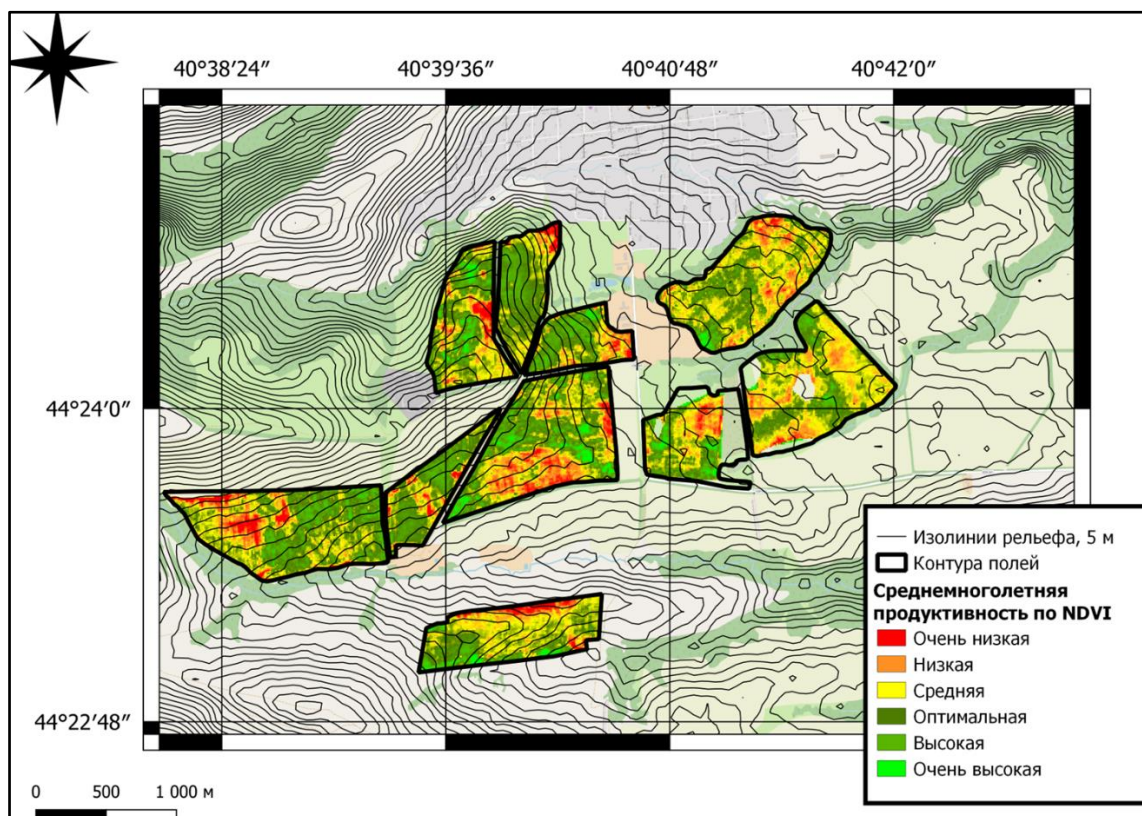


Рис. 3. Картограмма среднеголетней продуктивности по NDVI

При контрастировании растровой картограммы использовали диапазон растяжения равный величине $\pm 2Q$. Для получения значения для каждого полигона рассчитывали среднюю величину индекса внутри контура по композиту составляющих его пикселей. Аналогично производили усреднение высот в рамках одного полигона, полученных по ЦМР для проведения корреляционного анализа и дальнейшей регрессии [6].

Результаты и обсуждение

В соответствии с данными, полученными в ходе почвенно-ландшафтного обследования, были построены карты групп структур почвенного покрова для всей территории предприятия. При этом анализируя полученные карты со среднемноголетними картограммами по индексу NDVI следует отметить следующее:

Отмечается корреляция между пространственной локализацией луговато-черноземных почв и слитых черноземов и показателем среднемноголетних значений NDVI. Среднее значение среднемноголетнего индекса для контуров луговато-черноземных почв соответствует значению 0,45 ед., при этом для контуров черноземов выщелоченных, слабовыщелоченных и среднесмытых данная величина варьирует в пределах 0,55–0,70 ед. Для агроэкологических и агроклиматических условий Мостовского района Краснодарского края избыточное увлажнение на шлейфовых частях склонов, а также и замкнутых понижениях приводит к существенному снижению продуктивности растений. При этом продуктивность озимых культур снижается как правило за счет процессов вымокания и застоя влаги с поверхности при полном промачивании почвенного профиля. Для яровых культур, среди которых на данных участках присутствовала зерновая кукуруза, снижение продуктивности по большей части обусловлено более поздними сроками посева и плохим его качеством за счет более грубой предпосевной почвоподготовки по более влажному фону.

При оценке зональной статистики контура почв и элементарные почвенные структуры (ЭПС) были объединены по группам в соответствии со схемой, представленной на рис. 4.

В соответствии с полученными данными установлено, что среднее значение индекса NDVI внутри контуров ЭПС по среднемноголетним данным 2015–2023 гг. варьировало в пределах 0,40–0,74 ед., при этом максимальные значения 0,61–0,74 ед. соответствовали

эрозионными ЭПС, при этом минимальные значения 0,40–0,50 ед. соответствовали преимущественно полугидроморфным ЭПС.

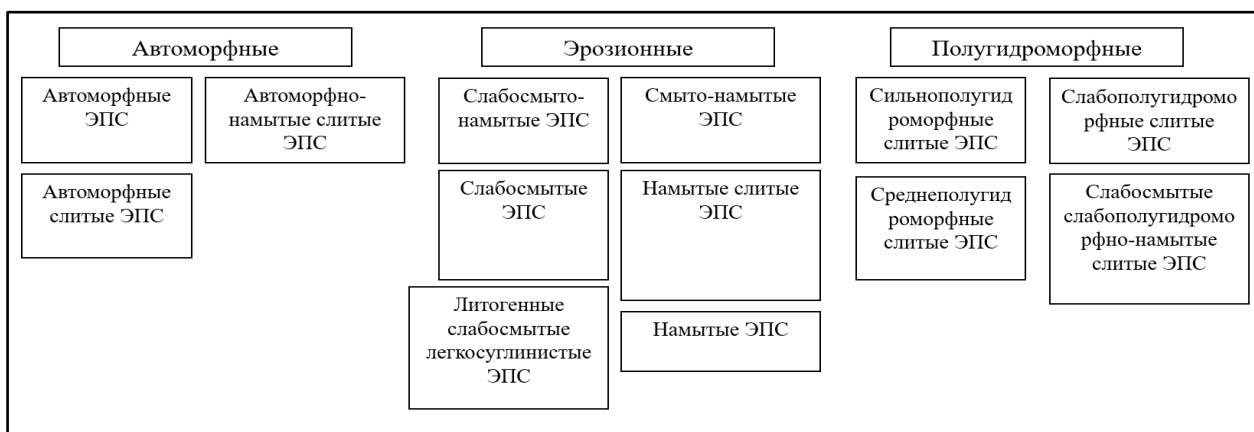


Рис. 4. Модель распределения ЭПС по группам

Следует отметить, что на эрозионных землях, приуроченных преимущественно к участкам склонов крутизной 2–6° в условиях избыточного увлажнения при количестве осадков свыше 900 мм, по среднесулетним данным обуславливается оптимальное дренирование влаги и более оптимальный водный режим, как следствие выражается в более высокой продуктивности сельскохозяйственных культур. Оценивая гранулометрический состав почв, следует отметить, что на исследуемой территории он менялся от легкоглинистого, до легкосуглинистого, данные зависимости гранулометрического состава от среднего показателя NDVI по контурам ЭПС анализировали с построением линейной модели. При этом величина коэффициента корреляции Пирсона соответствовала величине – 0,51 ед. при 68 наблюдениях, что является достоверным при уровне значимости $p=0.05$ при Величина R^2 и линейное уравнение представлены на рис. 5.

При этом максимальные среднесулетние показатели NDVI соответствуют группе среднесуглинистых/тяжелосуглинистых почв. В большинстве случаев на почвах легкоглинистого гранулометрического отмечается проявление процесса слитизации, что является следствием закупоривания пор илом и фракциями мелкой пыли. Это и является причиной снижения продуктивности растений и как следствие - более низких среднесулетних показателей NDVI.

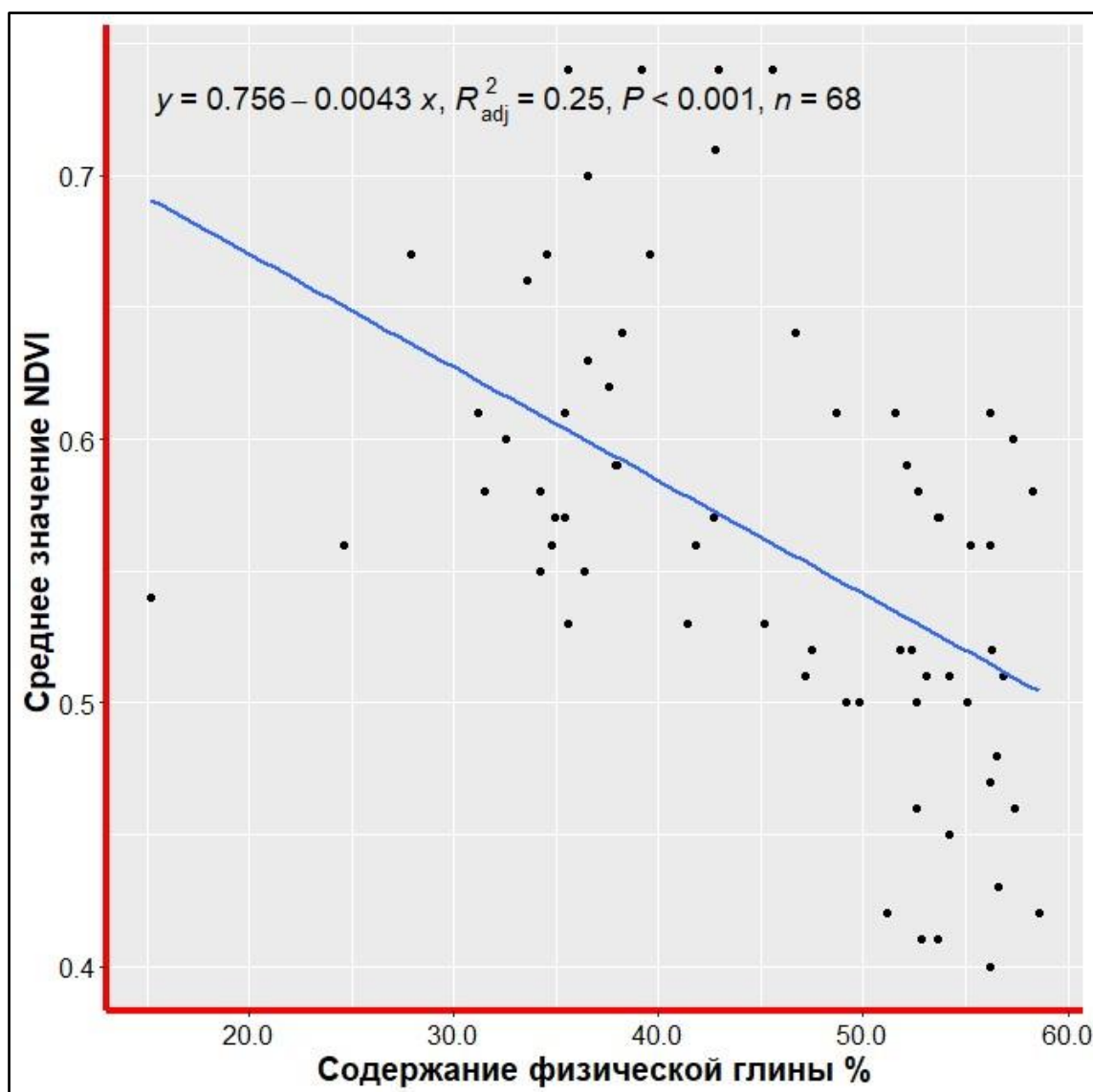


Рис. 5. Линейная модель зависимости среднегогодовой продуктивности по NDVI от содержания физической глины

Заключение

Использование среднесовременных картограмм индексов вегетации позволяет уточнять контура ЭПС, а также оценивать их среднюю продуктивность. В рамках данной работы установлено, что среднесовременное значение NDVI в линейной модели характеризуется достоверной зависимостью с показателем содержания физической глины при величине $R^2=0,26$ и числе наблюдений равным 68 ед. Среднесовременные значения NDVI на полугидроморфных ЭПС характеризовались минимальными значениями, в то время как на эрозийных ЭПС среднесовременное значение NDVI было максимальным.

Список использованных источников:

1. Прохоров А.А., Борисов Б.А., Ефимов О.Е., Индексная оценка степени выпаханности черноземов Предкавказской провинции/ Агрохимический вестник. – 2023. – № 5. – С. 50-5. – DOI: [10.24412/1029-2551-2023-5-009](https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-5-009). – EDN YWLHTG.
2. Детектирование деградированных участков пашни на основе анализа больших спутниковых данных / Д.И. Рухович, П.В. Королева, Н.В. Калинина [и др.] // Почвоведение. – 2021. – № 2. – С. 151–167. – DOI: [10.31857/S0032180X21020131](https://doi.org/10.31857/S0032180X21020131). – EDN WLJCMW.
3. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под ред. Кирюшина В.И., Иванова А.Л. - М., 2005. 784 с. EDN: PJRTTN
4. Funk, C., and Coauthors, 2015: The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci Data*, 2, <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.
5. Saha, Suranjana; et al. (2014). "The NCEP Climate Forecast System Version 2". *J. Climate*. 27 (6): 2185–208. Bibcode:2014JCLI...27.2185S. DOI: [10.1175/JCLI-D-12-00823.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1). hdl:2027.42/113112.
6. Прохоров А.А. Характеристика методов выделения фракций почвенного органического вещества и их использование для оценки гумусового состояния почв [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 6. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/6/st_604.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/202126604>.

Цитирование:

Прохоров А.А., Агеев К.Д., Горячев К.С. Использование индексов вегетации в почвенно-ландшафтом картографировании и агроэкологической оценке [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/2/st_228.pdf
DOI: <https://doi.org/10.51419/202142228>.