

*На правах рукописи*



**Куликов Юрий Алексеевич**

**МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ  
БИОЛОГИЧЕСКОГО РЕСУРСА ЛУГОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 1.5.20 Биологические ресурсы

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Воронеж – 2025

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Научный руководитель – **Высоцкая Елена Анатольевна**, доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», декан факультета технологии и товароведения

Официальные оппоненты: **Нелюбина Жанна Сергеевна**, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», Удмуртский НИИСХ, ведущий научный сотрудник.

**Смольский Евгений Владимирович**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», Институт экономики и агробизнеса, кафедра агрохимии, почвоведения и экологии, профессор кафедры.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии»

Защита диссертации состоится «20» марта 2025 г. в 12:00 в ауд. 149 на заседании диссертационного совета 35.2.008.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» и на сайте [www.ds.vsau.ru](http://www.ds.vsau.ru), с авторефератом – на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ [www.vak.minobrnauki.gov.ru](http://www.vak.minobrnauki.gov.ru) и ВГАУ [www.ds.vsau.ru](http://www.ds.vsau.ru).

Автореферат разослан «22» января 2025г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью организации, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Корзов С. И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Ведение хозяйственной деятельности человека с использованием биологического ресурса естественных экосистем в настоящее время обусловлено высокой экономической эффективностью данного процесса. В условиях Центрально-Черноземного региона активно используется надземная фитомасса природных луговых травяных сообществ. В зависимости от специфики сельскохозяйственного производства, биологический ресурс лугов обеспечивает функционирование пастбищ, сенокосов или смешанного типа сельскохозяйственного использования. Антропогенная нагрузка, возникающая при ведении хозяйственной деятельности затрагивающей природные экосистемы, сопровождается увеличением рисков деградации биоценозов, снижения биоразнообразия, устойчивого воспроизводства ценных видов живых организмов и их продуцентных свойств. Важное значение имеет возможность организации рационального подхода к использованию биологического ресурса природных популяций растительных организмов, используемых в постоянной хозяйственной деятельности человека, что требует наличия эффективных методов мониторинга и учета пространственно-временной динамики функционирования растительных сообществ на используемой территории. Традиционно известны способы мониторинга состояния растительного покрова, основанные на прямых измерениях и количественных подсчетах. Данные виды исследований при высокой точности измерений имеют ряд недостатков, таких как: высокая трудоемкость натурных измерений, низкая производительность и ресурсоемкость работ (охват в единицу времени), ограниченная масштабируемость, сложность автоматизации. В текущих условиях высокую значимость имеет задача повышения эффективности методов мониторинга, учета и оценки функционального состояния растительных сообществ природных видов, используемых в качестве ценного биологического ресурса, и имеющих определенный потенциал в развитии сельскохозяйственного производства.

**Степень разработанности темы.** В настоящее время известны работы, направленные на изучение динамики и функционального состояния луговой растительности. Большой вклад в исследования природных кормовых угодий и продуктивности травяных экосистем внесли Л. Г. Раменский, М. И. Ненароков впервые систематизировав сведения о естественных лугах Воронежской области, а также А. А. Титлянова, Н. И. Базилевич, Е. И. Шмакова, В. А. Снытко, С. С. Дубынина, Л. Н. Магомедова, Л. Г. Нефедьева, Н. В. Семенюк, А. А. Тишков, Ти Тран, Ф. И. Хакимзянова, Н. Г. Шатохина, Ч. О. Кыргыз, А. Д. Самбуу, описав структуру растительного вещества и первичной продукции в различных природно-климатических условиях. Отличительной особенностью большинства предыдущих исследований функционирования природных луговых экосистем является использование классических методов прямых измерений для учета количественных характеристик сезонной продуктивности фитоценозов и оценки пространственной дифференциации надземной фитомассы. А. Л. Силаев, Е. В. Смольский, И. Н. Белоус, В. Ф. Шаповалов в работах по исследованию управления продуктивностью естественных лугов Брянской области использовали метод прямого количественного измерения урожайности зеленой массы в момент укоса на учетных площадках площадью 1 м<sup>2</sup>. Также известны исследования по дистанционному мониторингу состояния степной растительности пастбищ степных территорий для оценки рисков пастбищной дигрессии. При этом схожие исследования применительно к задачам мониторинга и оценке функционального состояния значимого для аграрного

производства биологического ресурса природных хозяйственно-ценных угодий, сформированных луговыми растительными сообществами Центрально-Черноземного региона отсутствуют, что обосновывает актуальность данной работы.

**Цели исследования:** провести сравнительный анализ методов мониторинга пространственно-временной динамики развития надземной фитомассы луговых растительных сообществ с последующей разработкой способа оптимизации сельскохозяйственного использования биологического ресурса хозяйственно-ценных фитоценозов пойменных лугов представительных районов Воронежской области.

**Задачи исследования:**

1. Провести анализ методов мониторинга динамики состояния растительных ассоциаций луговых биоценозов.

2. Провести сравнительный анализ региональных особенностей функционирования и сезонной динамики продуктивности фитоценозов природных пойменных лугов представительных районов Воронежской области, выявив возможности сохранения биологического ресурса хозяйственно-ценных природных популяций луговых растений.

3. Выявить закономерности многолетней динамики вегетации природных растительных ассоциаций луговых биоценозов на основе мониторинга представительных территорий.

4. Разработать модель дистанционной оценки сезонной продуктивности надземной фитомассы растительных сообществ пойменных лугов.

5. Предложить способ оптимизации сельскохозяйственного использования биоресурсного потенциала природных хозяйственно-ценных растительных сообществ лугов.

**Научная новизна.** Осуществлен сравнительный анализ функционирования растительных сообществ пойменных лугов различных природно-климатических зон Воронежской области. Впервые проведен мониторинг природных луговых фитоценозов с использованием мультиспектральной спутниковой съемки, позволяющий дать динамическую оценку вегетации и выработать модель рационального использования биологического ресурса для конкретной территории. Предложен способ пространственно-временной дифференциации использования территории, занятой природным луговым фитоценозом и имеющей сельскохозяйственное значение в зависимости от природно-климатических условий. Разработана модель, позволяющая прогнозировать предукосное количество надземной фитомассы на единицу площади луга. Предложен метод оценки валовой питательности скашиваемой растительной массы на основе данных количественной прогностической модели.

**Практическая значимость работы.**

Установлена количественная взаимосвязь сезонной динамики надземной фитомассы лугов с изменением значений вегетационного индекса NDVI выражающаяся в высокой корреляции с  $r > 0,93$ .

Предложенный способ оптимизации хозяйственного использования луговых фитоценозов, заключающийся в пространственной дифференциации зон сенокосения или выпаса скота при построении карт вегетационного индекса для раннего обнаружения локальных очагов деградации растительного покрова, прогнозировании сроков и объемов кормозаготовки, позволяющий провести оценку питательности травяной массы представительных районов Воронежской области, что способствует рациональному использованию биоресурсного потенциала хозяйственно-ценных

растительных сообществ, с минимальными организационно-временными затратами в условиях аграрного производства.

**Методология и методы исследования.** Мониторинг пространственно-временной динамики развития хозяйственно-ценной надземной фитомассы природных пойменных лугов был выполнен двумя способами – прямым измерением при натурном обследовании и дистанционным при обработке материалов мультиспектральной съемки. Прямое измерение количества фитомассы выполнялось методом учета по рамке с площадью 0,25 м<sup>2</sup> в соответствии с существующими рекомендациями и опытом работ других исследователей в отношении аналогичных объектов. Для взвешивания фитомассы использовались электронные весы с предварительной калибровкой поверенным разновесом в соответствии с ГОСТ Р 53228-2008. Определение видового состава выполнялось с использованием полевых определителей зональной растительности. Для дистанционного мониторинга использовались карты индекса NDVI, созданные на основе материалов мультиспектральной съемки уровня L1C, полученных от орбитального аппарата Sentinel-2. Математическая обработка данных выполнялась с использованием Microsoft Excel. Для работы с пространственными растровыми и векторными данными использовалось ПО «Quantum GIS». Обработка материалов мультиспектральной съемки и построение карт индекса NDVI производились в ПО «АгроСигнал».

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Растительные сообщества природных хозяйственно-ценных пойменных лугов представительных районов Воронежской области отличаются по показателям пиковой сезонной продуктивности в зависимости от природно-климатических условий территории. Максимальный среднеголетний уровень надземной фитомассы обнаруженный при прямом измерении составляет 1,05 кг/м<sup>2</sup> в Богучарском районе, 0,85 кг/м<sup>2</sup> в Таловском районе, 0,79 кг/м<sup>2</sup> в Семилукском районе, 0,61 кг/м<sup>2</sup> в Терновском районе.

2. Фитоценозы представительных луговых территорий демонстрируют при прямом измерении продукционную характеристику надземной фитомассы с высокой корреляцией ( $r > 0,93$ ) к значениям разностного вегетационного индекса NDVI, получаемого дистанционным способом, что дает основания считать дистанционный метод мониторинга на основе мультиспектральной съемки применимым для решения задач оценки пространственно-временной динамики распределения вегетирующей биомассы естественных лугов в широких масштабах.

3. Взаимосвязь значений спектрального индекса с количеством надземной фитомассы позволяет планировать оптимальные сроки сенокоса (при достижении значений NDVI: 0,84 – 0,89 для Семилукского, 0,71 – 0,80 для Терновского, 0,88 – 0,91 для Таловского и 0,87 – 0,91 для Богучарского районов) с возможностью предсказания валового сбора (расчетная формула прогностической модели:  $P_m, \text{кг/м}^2 = 1,3338 * NDVI - 0,3023$ ) и питательности (расчетная формула валовой питательности:  $P_v, \text{корм.ед./га} = Y_{II} * K_v * P$ ) травяной массы на единицу площади луга.

4. Способ оптимизации сельскохозяйственного использования биологического ресурса природных луговых территорий на основе дистанционного мультиспектрального мониторинга применим для исследования потенциала хозяйственно-ценных фитоценозов с минимальными организационно-временными затратами в условиях аграрного производства.

**Достоверность результатов** исследования обеспечивается широким географическим охватом объектов исследования в пределах Воронежской области и многолетним периодом измерений. Методы исследования выбраны в соответствии с существующими общепринятыми подходами применительно к задачам и объектам. Данные, полученные в ходе выполнения работы, подвергнуты статистической обработке.

**Личный вклад автора.** Автором была разработана программа исследования, в соответствии с которой в период с 2020 по 2024 год проведен анализ методов мониторинга и оценки функционального состояния природных видов растений луговых травяных сообществ, выполнены натурные измерения по исследуемым объектам, собраны и обработаны материалы мультиспектральной космосъемки, обобщены и проанализированы результаты измерений на основе которых сделаны выводы, выносимые на защиту.

**Апробация работы.** Данные, полученные в ходе выполнения исследования, были доложены на XIV Международной научно-практической конференции «Интерагромаш 2021» (Ростов-на-Дону, 2021 г.), IX Международной научно-практической конференции «Производство и переработка сельскохозяйственной продукции» (Воронеж, 2023 г.), V Международной научно-практической конференции «Передовые достижения науки в молочной отрасли» (секция «Кормопроизводство как необходимый ресурс молочной промышленности») (Вологда, 2023 г.), Международной научно-практической конференции «Вавиловские чтения – 2023» (Саратов, 2023 г.), VI национальной научно-практической конференции «Теория и практика инновационных технологий в землеустройстве и кадастрах» (Воронеж, 2023 г.), II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь.Наука.Инновации» (секция «Ресурсосберегающие технологии в земледелии») (Ярославль, 2024 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы и приоритетные направления развития ветеринарной медицины, зоотехнии и экологии» (Рязань, 2024 г.), Международной научно-практической конференции «Вызовы и инновационные решения в аграрной науке» (Белгород, 2024 г.), Национальной научно-практической конференции «Циркулярная экономика для целей устойчивого развития отраслей и территорий» (Воронеж, 2024 г.), Национальной научно-практической конференции «Теория и практика инновационных технологий в АПК» (Воронеж, 2024 г.).

**Публикации по теме исследования.** По теме диссертационной работы опубликовано 12 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получено свидетельство о государственной регистрации базы данных (№2024621868 от 02.05.2024), созданной в ходе выполнения работы.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на 188 страницах, содержит следующие разделы: введение, главы 1 – 5, заключение, перспективы дальнейшей разработки темы, список литературы и приложения. Библиографический список содержит 170 источников, в том числе 19 на иностранном языке. Иллюстративный материал представлен в 17 таблицах, 45 рисунках и 5 приложениях.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО РЕСУРСА ЛУГОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ

Глава содержит обзор исследований растительного покрова природных лугов региона в части видового разнообразия, истории изучения и практики сельскохозяйственного использования биологического ресурса в качестве кормовых угодий. Описаны методологические подходы к мониторингу и оценке продукционных характеристик растительных сообществ. Проведен анализ преимуществ и недостатков известных методов оценки пространственно-временной динамики хозяйственно-ценной наземной фитомассы на основе прямых натуральных количественных измерений и дистанционных способов.

### 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемыми объектами выступали четыре участка природных пойменных лугов, расположенные в разных районах Воронежской области. В таблице 1 представлено описание и координатная привязка каждого участка.

Таблица 1 – Координаты, площадь и географическое расположение изучаемых объектов

Наименование	Площадь, га	Географическое расположение	Координаты центров в системе проекции WGS84
Участок № 1	8,94	Семилукский р-н, с. Сапруновка	51.86152, 38.60589
Участок № 2	4,58	Терновский р-н, с. Козловка	51.68642, 41.33098
Участок № 3	7,64	Богучарский р-н, с. Данцевка	49.90292, 40.25707
Участок № 4	2,34	Таловский р-н, с. Коминтерн	51.11601, 40.63153

Основным критерием выбора при поиске объектов исследования, отвечающих целям и задачам данной работы, было нахождение луговых участков в представительных условиях, характеризующих разнообразие природно-климатических зон Воронежской области. Исходя из этого, были определены следующие районы исследования: Семилукский, Терновский, Таловский и Богучарский. Климатическая характеристика районов приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Климатическая характеристика районов исследования

Район	ГТК (за вегетационный период)	∑осадков среднегодовая, мм	Т среднегодовая, °С
Семилукский	1,11	500-550	+5,0...+5,5
Терновский	1,03	400-450	+4,5...+5,0
Таловский	0,98	450-500	+5,0...+5,5
Богучарский	0,84	450-500	+6,5...+7,0

Почвенный покров речных пойм Воронежской области представлен несколькими типами: аллювиальные дерновые насыщенные, аллювиальные луговые насыщенные, аллювиальные лугово-болотные, аллювиальные болотные перегнойно-глеевые, аллювиальные болотные иловато-торфяные почвы. В зависимости от наличия сопутствующих почвенных процессов, почвы пойм разделяются на уровне подтипа, рода, вида.

Объекты исследования расположены в разных физико-географических районах. Семилукский и Богучарский районы относятся к территории Средне-Русской возвышенности. При этом Семилукский район также расположен в границах Воронежской антеклизы. Терновский район находится в пределах Окско-Донской низменности. Галовский район находится на границе между Окско-Донской низменностью и Калачской возвышенностью.

Все исследуемые луга используются в хозяйственной деятельности человека. Преобладающий вид использования – сенокосение. Было установлено отсутствие окультуренности изучаемых луговых участков, расположенных во всех районах области. За период исследований ни на одном из исследуемых участков не выполнялось никаких агротехнологических операций кроме скашивания травяной массы.

Для оценки пропорционального вклада в формирование хозяйственно-ценной фитомассы различных видов луговых растений, был произведен расчет долей массы надземных частей растений в предукосный период для каждого исследуемого участка. В таблице 3 приведены сведения о процентном соотношении надземной фитомассы каждого вида к моменту первого сезонного укоса.

Таблица 3 – Соотношение массы надземных частей растений лугов

Район	Преобладающие виды растений	Доля в структуре надземной фитомассы предукосного периода
Семилукский	Пырей ползучий ( <i>Elytrigia repens</i> L.)	45%
	Овсяница луговая ( <i>Festuca pratensis</i> Huds.)	30%
	Щавель конский ( <i>Rumex confertus</i> Willd.)	8%
	Чина луговая ( <i>Lathyrus pratensis</i> L.), Одуванчик лекарственный ( <i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.), Василек луговой ( <i>Centaurea jacea</i> L.)	17%
Терновский	Пырей ползучий ( <i>Elytrigia repens</i> L.)	42%
	Мятлик луговой ( <i>Poa pratensis</i> L.)	38%
	Щавель конский ( <i>Rumex confertus</i> Willd.)	5%
	Чина луговая ( <i>Lathyrus pratensis</i> L.), Мышиный горошек ( <i>Vicia cracca</i> L.), Одуванчик лекарственный ( <i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.)	15%
Галовский	Пырей ползучий ( <i>Elytrigia repens</i> L.)	60%
	Мятлик луговой ( <i>Poa pratensis</i> L.)	32%

	Чина луговая ( <i>Lathyrus pratensis</i> L.), Щавель конский ( <i>Rumex confertus</i> Willd.)	8%
Богучарский	Овсяница луговая ( <i>Festuca pratensis</i> Huds.)	80%
	Пырей ползучий ( <i>Elytrigia repens</i> L.)	11%
	Щавель конский ( <i>Rumex confertus</i> Willd.), разнотравье	9%

Для каждого изучаемого объекта были выполнены следующие действия: выделение границ объекта для получения представительной площади, определение видового состава, измерение количества надземной фитомассы.

Площадь участка в выделенных границах была вычислена как площадь полигональной фигуры в плане, полученной на основе записи GPS координат. Для определения координат границы лугового участка в полевых условиях использовался GPS-приемник мобильного устройства Samsung Note 9 с программным обеспечением «АгроСигнал.Картирование». Постобработка полевых измерений выполнялась в программном обеспечении «Quantum GIS».

Для оценки видового состава луга был использован метод учетных площадок с площадью 1 м<sup>2</sup>, на которых производилась идентификация произрастающих видов травянистой растительности в соответствии с методическими рекомендациями В. С. Ипатова (2008). Определение видовой принадлежности растений выполнялось с использованием полевого определителя растений.

Была выполнена серия измерений количества надземной фитомассы лугов в различные периоды вегетационного сезона 2021 – 2023 годов. Для среза растений с единицы площади использовалась рамка 0,25 м<sup>2</sup>. Срез производился на высоте 5-7 см от поверхности почвы, что соответствует способу механизированного скашивания наиболее распространенными роторными косилками. Полученная травяная масса взвешивалась при естественной влажности. Измерения на каждом исследуемом участке проводились по диагональной линии в 5-7 точках в каждый день полевого обследования с последующим расчетом среднего значения количества надземной фитомассы в кг/м<sup>2</sup> на соответствующую дату. Взвешивание срезанной фитомассы производилось с помощью электронных весов, имеющих дискретность измерения 5 г для диапазона от 0 до 10 кг. Для обеспечения единства измерений выполнялась калибровка весов с помощью поверенной гири массой 200 г (класс E1) в соответствии с ГОСТ Р 53228-2008.

Дистанционные измерения выполнялись на основе материалов орбитальной мультиспектральной космосъемки. В качестве источника данных использовались многоканальные снимки космического аппарата Sentinel-2 категории level 1C с пространственным разрешением 10 метров на пиксель. Периодичность съемки для каждой территории составила 2-3 дня, что обусловлено параметрами орбиты космического аппарата. Оценка пространственной и временной динамики развития надземной фитомассы лугов выполнялась с применением нормализованного разностного вегетационного спектрального индекса NDVI, рассчитываемого по формуле:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}, \quad (1)$$

где

**NDVI** – значение индекса,

**B8** – интенсивность ближнего инфракрасного канала (842 нм),

**B4** – интенсивность красного канала (665 нм).

Обработка материалов космосъемки и расчет индекса NDVI выполнялась с использованием программного обеспечения «АгроСигнал» и «Quantum GIS». Для визуализации пространственно-временной дифференциации значений индекса были построены карты с цветокодировкой диапазонов. Для оценки временной динамики индекса для каждого объекта исследований были рассчитаны средние значения NDVI на дату съемки, которые впоследствии сравнивались со средними значениями измерений количества надземной фитомассы. На рисунке 1 показан пример процесса визуализации карты индекса NDVI после выполнения обработки первичных материалов съемки.



Рисунок 1 – Построение карты вегетационного индекса NDVI для исследуемого объекта на примере снимка от 28.04.2021 (Терновский район Воронежской области)

Результаты натурных измерений количества надземной фитомассы были систематизированы в хронологическом порядке для каждого объекта исследования. Результаты дистанционных измерений также были хронологически систематизированы в виде средних значений индекса NDVI для каждого объекта на дату съемки.

Для сопоставления и анализа взаимосвязей выборок натурных и дистанционных измерений была разработана специальная структура базы данных, впоследствии зарегистрирована (свидетельство о госрегистрации №2024621868 от 02.05.2024).

Проверка достоверности взаимосвязи парных значений была выполнена общепринятым статистическим методом, используемым в биологических исследованиях, с расчетом критерия Вилкоксона для уровня значимости  $p = 0,05$ .

Методы исследования были выбраны на основании проведенного анализа подходов и способов мониторинга пространственно-временной динамики надземной фитомассы травяных растительных сообществ. Применение комбинации натурных обследований с прямым измерением количества фитомассы на единицу площади в параллели с дистанционной мультиспектральной съемкой было обусловлено задачами исследования и направлено на выявление характера взаимосвязи между методами, а также повышение представительности и пространственного охвата изучаемых территорий.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
**3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА**  
**ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЛУГОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ**  
**ПРЕДСТАВИТЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Оценка состояния и анализ биологического ресурса луговых фитоценозов по результатам натурных исследований.* В течение всего срока наблюдений было осуществлено 48 полевых выездов в период 2021 – 2023 годов. Основная часть натурных наблюдений проводилась в период со 2й декады апреля по середину июня для максимального охвата времени интенсивного прироста надземной фитомассы и обнаружения пика накопления травостоя перед первым укосом лугов, использующихся в сельскохозяйственной деятельности в качестве природного биологического ресурса. Для оценки продукционной способности было проведено сравнение максимальных зафиксированных значений надземной фитомассы на единицу площади. На рисунке 2 представлена диаграмма пиковых значений надземной фитомассы лугов по годам исследования.

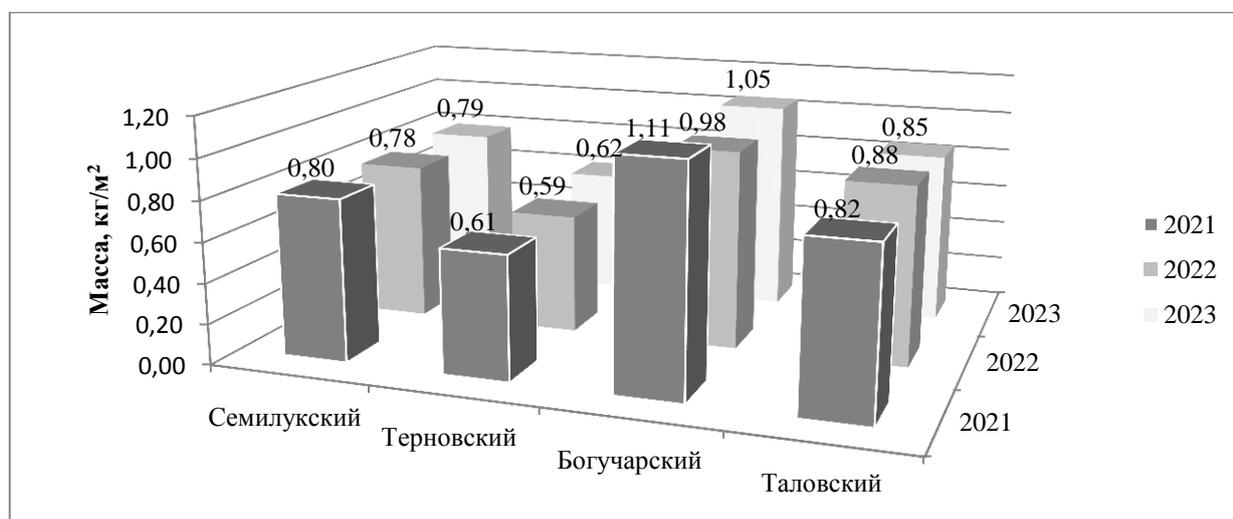


Рисунок 2 - Диаграмма пиковых значений количества надземной фитомассы в кг/м<sup>2</sup> по районам расположения объектов исследования за 2021 – 2023 год

На основе полученных натурных данных был произведен расчет среднееголетних значений пиковой продуктивности лугов по районам исследования. В таблице 4 показана группировка исследуемых лугов.

Таблица 4 – Группировка исследуемых лугов по максимальной продуктивности надземной фитомассы, кг/м<sup>2</sup>

Позиция	Район	2021	2022	2023	Среднее за 3 года
1	Богучарский	1,11	0,98	1,05	1,05
2	Таловский	0,82	0,88	0,85	0,85
3	Семилукский	0,80	0,78	0,79	0,79
4	Терновский	0,61	0,59	0,62	0,61

Используя результаты интервальных измерений количества надземной фитомассы в период с апреля по июнь, был выполнен расчет скорости суточного

прироста для каждого года исследования. На рисунке 3 показаны результаты расчета среднесуточного прироста надземной фитомассы.

Если использовать показатель скорости среднесуточного прироста надземной фитомассы в качестве оценочного критерия продуктивности лугового фитоценоза, то рейтинг объектов исследования демонстрирует сходство с выявленной закономерностью рейтинга пиковых значений биомассы. В таблице 5 показано сопоставление значений среднесуточного прироста с максимумами количества надземной фитомассы.

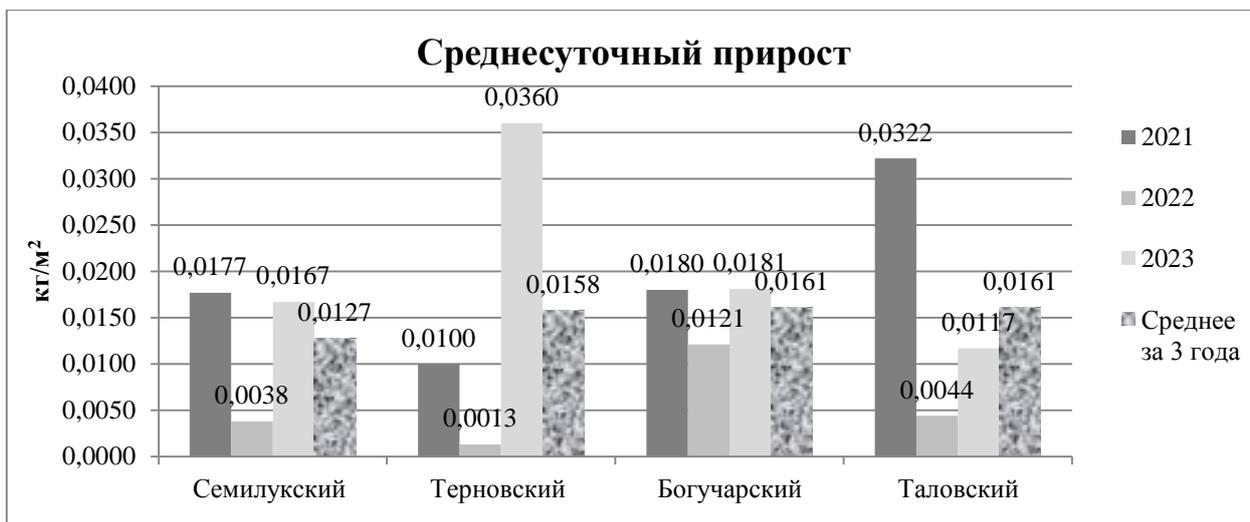


Рисунок 3 - Диаграмма среднесуточного прироста надземной фитомассы для луговых территорий в период апрель – июнь по годам исследования

Таблица 5 - Группировка луговых территорий по скорости среднесуточного прироста в сопоставлении с максимальными уровнями количества надземной фитомассы (кг/м<sup>2</sup>) (среднее за 2021 – 2023 годы)

Позиция	Район	Среднесуточный прирост	Максимум надземной фитомассы
1	Богучарский	0,0161	1,05
2	Таловский	0,0161	0,85
3	Терновский	0,0158	0,61
4	Семилукский	0,0127	0,79

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что наблюдается частичная взаимосвязь между скоростью прироста и пиковыми значениями надземной фитомассы для северных и центрального/южного районов. Так, более высокая скорость прироста в Таловском и Богучарском районах (0,0161 кг/м<sup>2</sup>/сутки в обоих случаях) соответствуют более высоким пиковым значениям количества надземной фитомассы для данных объектов исследования (0,85 и 1,05 кг/м<sup>2</sup>, соответственно). В то время как среднесуточный прирост для Семилукского и Терновского районов (0,0127 и 0,0158 кг/м<sup>2</sup>/сутки, соответственно) соответствует более низким значениям максимального количества надземной фитомассы (0,79 и 0,61 кг/м<sup>2</sup>).

В результате анализа полученных значений были определены различия в продукционной способности луговых фитоценозов, расположенных в разных природно-климатических зонах Воронежской области. Наибольшая продуктивность надземной фитомассы была обнаружена на пойменном лугу Богучарского района со среднемноголетним максимумом  $1,05 \text{ кг/м}^2$ , а наименьшая – в Терновском районе со значением среднемноголетнего максимума  $0,61 \text{ кг/м}^2$ .

**Результаты дистанционного мониторинга фитоценозов.** Для осуществления дистанционного мониторинга пространственно-временной динамики продуктивности луговых фитоценозов в период проведения исследования, было собрано и обработано 142 мультиспектральных спутниковых снимка. Определяющим условием для выбора мультиспектрального спутникового снимка и его дальнейшей обработки было соответствие двум главным критериям:

- Дата съемки, находящаяся во временном интервале среднемноголетних дат активной вегетации луговой растительности (с последней декады марта до конца октября).

- Облачное покрытие снимка в пределах границ геозон изучаемых луговых территорий не более 1%.

Для оценки пространственного распределения надземной фитомассы лугов, использовались карты индекса NDVI при начале весенней вегетации, в момент активного прироста биомассы и в момент достижения пиковых значений.

Анализ карт значений NDVI в начальный период вегетации за три года исследования показывает наличие общей закономерности распределения надземной фитомассы. Горизонтальная неоднородность количественного распределения надземной фитомассы лугов в весенний период связана с несколькими основными факторами:

- затопление паводковыми водами отдельных зон, приуроченных к аккумулятивным формам рельефа, что однозначно определяется при визуальном осмотре территории лугов;

- локальная распространенность ассоциаций видов, начинающих вегетацию при меньшем пороге температур.

В начале мая, при начале активного набора зеленой биомассы растениями лугового фитоценоза, на всех изучаемых объектах происходит изменение характера пространственной дифференциации. На картах NDVI наблюдается уменьшение контраста значений индекса, соответствующее уменьшению степени пространственной дифференциации надземной фитомассы. Для математической оценки степени неравномерности горизонтального распределения биомассы травянистой растительности на изучаемых участках лугов, был выполнен расчет амплитуды значений NDVI (размах от минимального до максимального фиксируемого значения) для каждого дня съемки с последующим хронологическим сопоставлением временных рядов за каждый год проведения исследования. На рисунке 4 показан пример сезонной динамики амплитуды индекса NDVI. Из анализа диаграмм изменения амплитуды значений индекса NDVI, соответствующего разбросу абсолютных значений количества надземной фитомассы на единицу площади, следует:

- а) характер уменьшения амплитуды значений индекса NDVI повторяется на всех лугах исследуемых природно-климатических зон Воронежской области на протяжении всего периода наблюдений, что позволяет сделать вывод о том, что описанная закономерность имеет устойчивый характер.

б) учитывая известную взаимосвязь между индексом NDVI и количеством зеленой надземной фитомассы, анализ амплитуды значений NDVI в границах изучаемого участка может являться индикатором степени пространственной неоднородности развития растительного покрова.

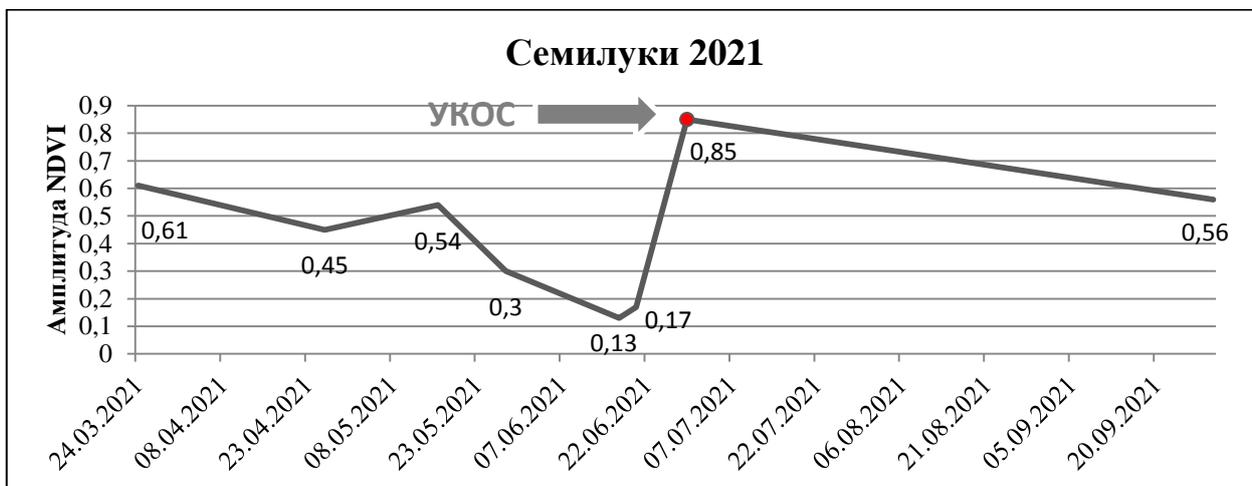


Рисунок 4 - График сезонной динамики амплитуды значений индекса NDVI на примере лугового участка Семилукского района за 2021 год

Максимальные значения индекса NDVI, предшествующие первому укусу, для каждого исследуемого объекта были зафиксированы в каждый год исследования. В таблице 6 приведены даты наступления пиков вегетации, определенные по максимумам значений индекса.

Таблица 6 – Даты и значения зафиксированных пиков надземной фитомассы

Среднегодовой максимум	Сезонный максимум	Значение NDVI
<i>Семилукский</i>		
17.06	20.06.2021	0,89
	25.06.2022	0,87
	07.06.2023	0,84
<i>Терновский</i>		
04.06	08.06.2021	0,77
	04.06.2022	0,71
	02.06.2023	0,80
<i>Богучарский</i>		
18.06	15.06.2021	0,91
	19.06.2022	0,87
	22.06.2023	0,89
<i>Таловский</i>		
27.05	25.05.2021	0,88
	23.05.2022	0,91
	02.06.2023	0,91

Карты пространственного распределения значений индекса NDVI на момент первого сезонного пика вегетации на всех изучаемых участках луговых территорий демонстрируют значительное снижение визуально определяемой пространственной неоднородности растительного покрова, что сопровождается снижением амплитуд

значений индекса. Снижение степени пространственной дифференциации луговой растительности в момент максимального развития надземной фитомассы на наш взгляд связано с выравниванием условий увлажнения отдельных участков луга при наступлении межени, что сопровождается возникновением оптимальных условий не только для группы мезогигрофитов, но и для мезофитов.

При рассмотрении среднесезонных значений, исследуемые объекты по районам их расположения можно выстроить в следующем порядке по датам наступления максимумов NDVI (от раннего к позднему): Таловский, Терновский, Семилукский, Богучарский.

Для изучения взаимосвязи результатов дистанционного мониторинга вегетации луговой растительности с объективно наблюдаемыми явлениями (начало весенней вегетации, скашивание травостоя, повторное отрастание травостоя), был выполнен анализ временной динамики средних значений индекса NDVI для каждого исследуемого объекта. На рисунке 5 приведен пример графика сезонной динамики индекса для одного из объектов исследования, где показаны моменты выполнения укосов и послеукосного отрастания травостоя.

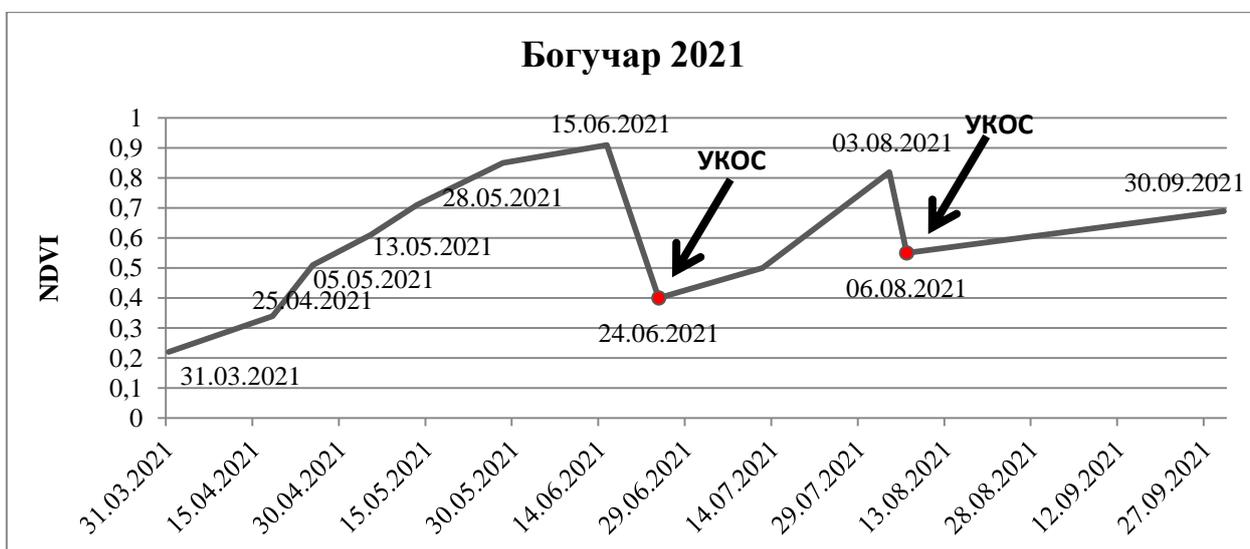


Рисунок 5 - График динамики средних значений индекса NDVI для участка луга Богучарского района за 2021 год (стрелками отмечены моменты выполнения укосов)

**Сравнительный анализ результатов исследования.** Для определения характера взаимосвязи по проверке гипотезы исследования, было проведено сопоставление пар значений временных рядов, получаемых при сравнении дат выполнения мультиспектральной съемки и прямого измерения количества надземной фитомассы. В выборках параллельных пар значений был рассчитан коэффициент корреляции и, соответственно, коэффициент детерминации. На рисунке 6 показаны результаты сопоставления значений вегетационного индекса NDVI и надземной фитомассы при естественной влажности для исследуемых объектов.

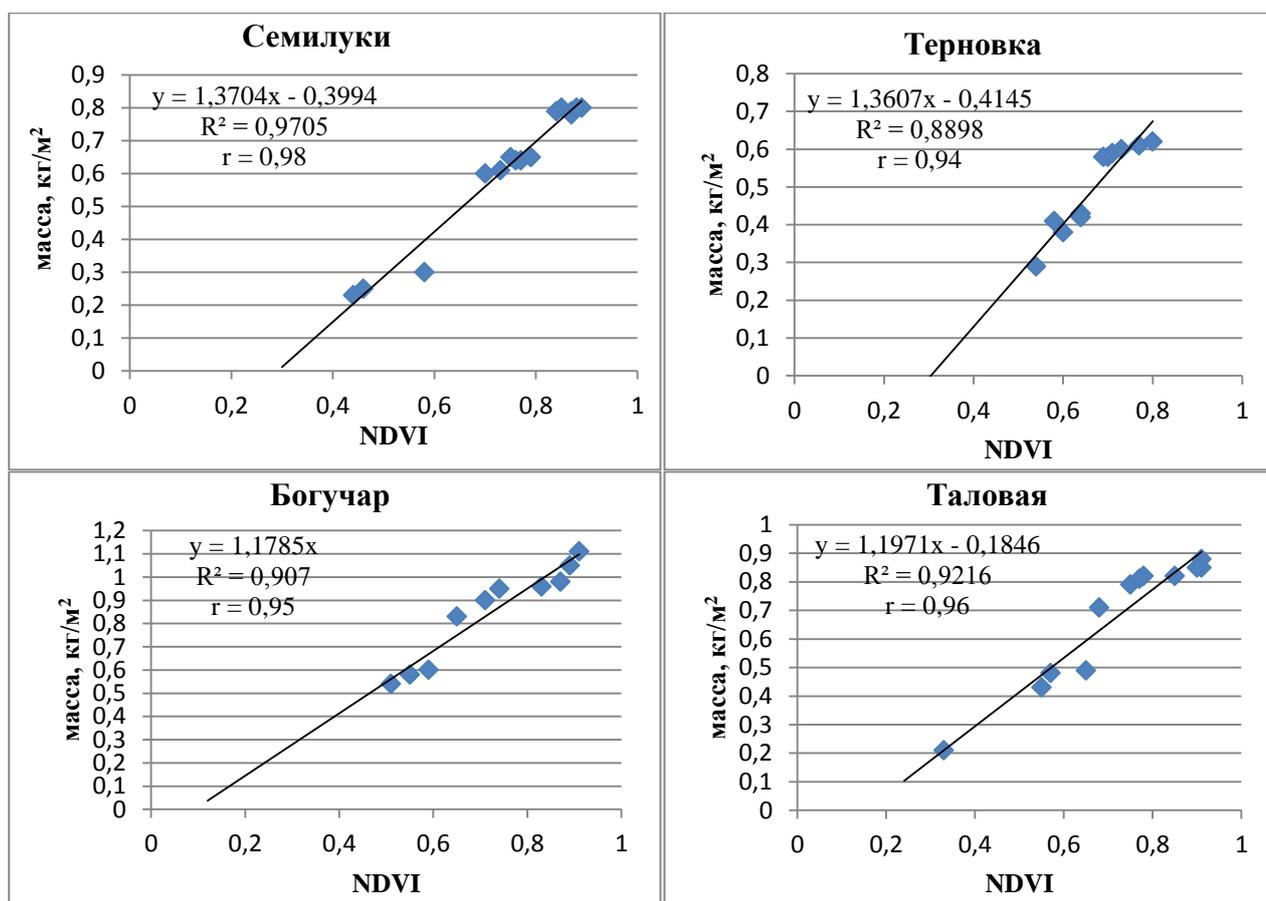


Рисунок 6 - Сопоставление значений «масса / NDVI»

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

а) существует высокая корреляция ( $r = 0,93...0,98$ ) между дистанционно определяемым значением индекса NDVI и измеряемым при натурном обследовании количеством надземной фитомассы на единицу площади.

б) взаимосвязь двух показателей имеет линейный характер зависимости и может быть описана уравнением регрессии вида:

$$y = A \cdot x - B, \quad (2)$$

где

**A** и **B** – угловой коэффициент и константа, соответственно

**y** – надземная фитомасса при естественной влажности,  $\text{кг}/\text{м}^2$

**x** – значение индекса NDVI

в) угол наклона линии тренда и точка ее пересечения с осью **x** отличаются для уравнений регрессии, полученных в разных районах исследования. Данное явление обусловлено отличиями в характере сезонной динамики вегетации луговой растительности на фоне разных природно-климатических условий каждого из исследуемых районов.

### 3. ПЕРСПЕКТИВЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО РЕСУРСА ЛУГОВО-ПАСТБИЩНЫХ БИОЦЕНОЗОВ

*Пространственно-временная дифференциация биологического ресурса.*

Временная и пространственная изменчивость является неотъемлемой характеристикой всех биологических систем. При этом, возможность получения

представительной оценки пространственного распределения хозяйственно-ценной фитомассы природных луговых территорий в разные временные интервалы имеет высокое значение, как для планирования хозяйственного использования, так и для выявления рисков деградации растительных сообществ. Оценка карт вегетационного индекса NDVI, получаемых в результате обработки сезонных серий мультиспектральных изображений, показала высокую информативность для выявления пространственной неравномерности распределения надземной фитомассы. На рисунке 7 представлен механизм расчета площади для различных диапазонов значений индекса NDVI при программном анализе пространственной неоднородности луговой территории. Используя принцип интервального зонирования с расчетом эквивалентных площадей диапазонов индекса NDVI, появляется возможность перехода от относительной субъективной оценки горизонтальной вариативности количества надземной фитомассы, получаемой при натурном выборочном измерении, к ее количественному определению.

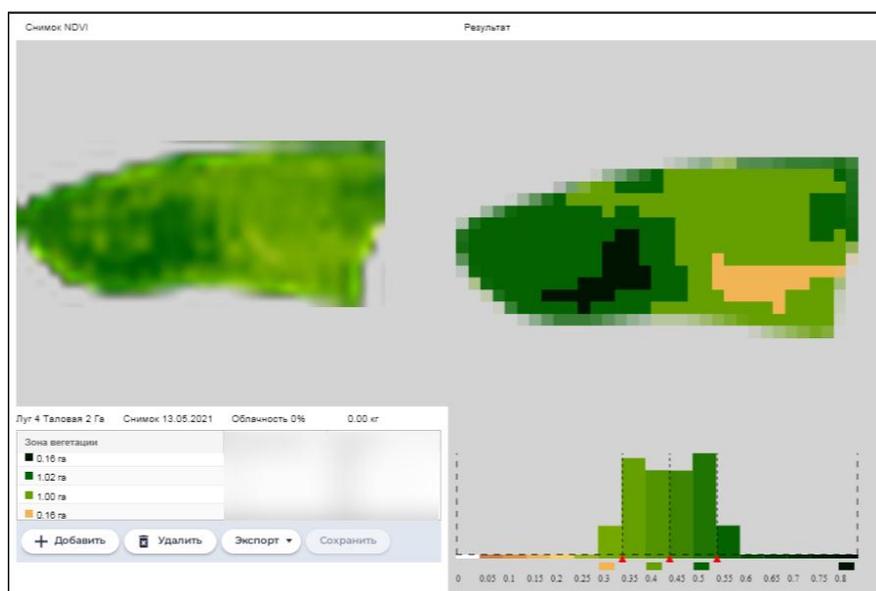


Рисунок 7 – Расчет эквивалентной площади диапазонов значений NDVI с помощью ПО для геопространственного анализа на примере участка пойменного луга Таловского района Воронежской области

Использование дистанционного метода мониторинга на основе мультиспектральной съемки, позволило получить в ходе исследования непротиворечивые данные о возможности применения среднего (в границах объекта) значения индекса NDVI на дату съемки для оценки сезонной динамики вегетации и изменения количества надземной фитомассы. Анализ графиков значений вегетационного индекса для всех изучаемых объектов показал возможность выявления пиков накопления надземной фитомассы, предшествующих укоосу. Таким образом, состояние надземной фитомассы растительного сообщества луга в моменты хозяйственно-значимых изменений может быть оценено при анализе графика динамики и карт пространственного распределения вегетационного индекса. Собранные за период исследования сведения о среднемноголетних сезонных пиках биомассы, позволяют сделать вывод о том, что для конкретных природно-климатических условий в сочетании с биологическими особенностями

преобладающих видов луговых растений существуют характерные устойчивые интервалы максимумов NDVI.

**Модель сезонной динамики надземной фитомассы.** Совокупность данных, полученных в ходе исследования луговых территорий, расположенных в нескольких природно-климатических зонах Воронежской области, позволяет разработать модель, иллюстрирующую региональные особенности среднемноголетней сезонной динамики надземной фитомассы луговых травяных экосистем и отражающую их продукционные характеристики.

Основываясь на объективной представительности данных дистанционного мониторинга и наличии серии параллельных измерений количества надземной фитомассы в различные периоды вегетации, полученных при натурных обследованиях, было выполнено обобщающее сопоставление значений для получения модели количественной оценки фитомассы пойменных лугов. На рисунке 8 показана точечная диаграмма, примененная для калибровки модели и расчета уравнения регрессии.

В результате было получено уравнение регрессии, лежащее в основе модели:

$$P_m = 1,3338 * NDVI - 0,3023, \quad (3)$$

где

**$P_m$**  – количество надземной фитомассы при естественной влажности в  $кг/м^2$

**NDVI** – значение вегетационного индекса NDVI в единицах индекса

Для уравнения регрессии была определена величина коэффициента корреляции  $r = 0,85$  и показатель  $R^2 = 0,73$ .

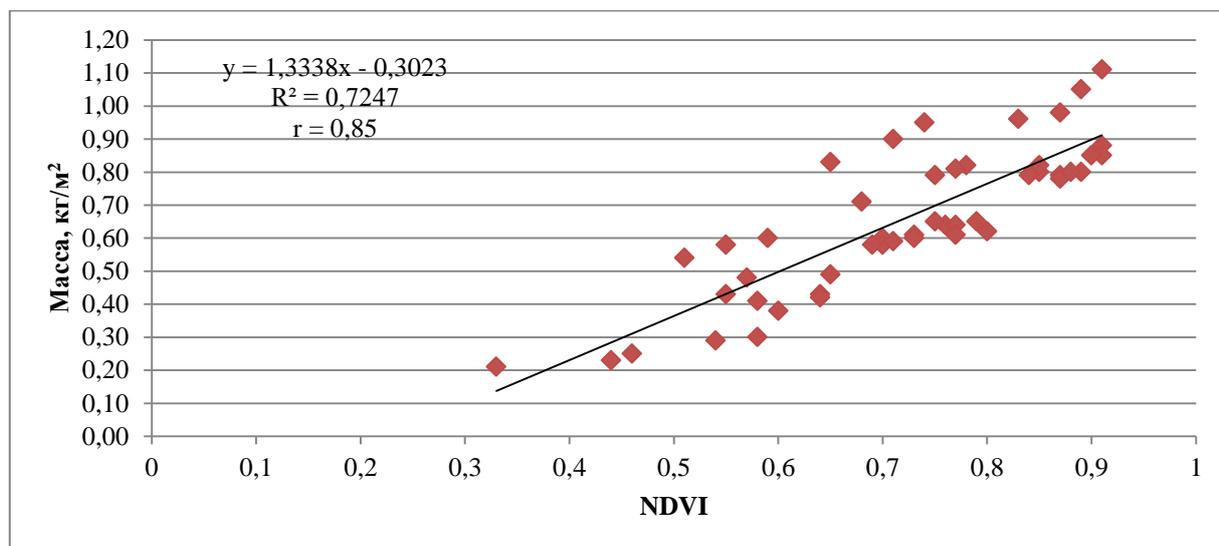


Рисунок 8 – Диаграмма калибровочных значений прогностической модели

Для проверки модели выполнена серия расчетов с предсказанием количества надземной фитомассы на  $1 м^2$  и последующим сравнением значений с заведомо известными величинами количества фитомассы, полученными прямым натурным измерением при проведении учетов по рамкам с площадью  $0,25 м^2$ . В таблице 7 показан результат расчетов и сопоставлений прогнозируемого значения, рассчитанного на основе модели с измеренным значением. Величина индекса NDVI была использована для вычисления прогнозного количества фитомассы.

В результате выполнения расчетов были получены величины абсолютных отклонений прогнозных значений от фактически измеренных, для которых был применен критерий оценки значимости (Вилкоксона).

Таблица 7 – Сравнение предсказанных и фактических значений количества надземной фитомассы

№	Район	Дата	NDVI	$Pm_{ф},$ кг/м <sup>2</sup>	$Pm_{п},$ кг/м <sup>2</sup>	Откл. абс.	T	T <sup>+</sup>	T <sup>-</sup>
1	Сем.	25.04.2021	0,46	0,25	0,31	-0,06	5	0	5
2	Сем.	08.05.2022	0,77	0,64	0,72	-0,08	6	0	6
3	Сем.	05.06.2023	0,84	0,79	0,82	-0,03	2	0	2
4	Тер.	25.05.2021	0,70	0,58	0,63	-0,05	3	0	3
5	Тер.	09.06.2021	0,77	0,61	0,72	-0,11	5	0	5
6	Тер.	03.05.2023	0,73	0,60	0,67	-0,07	3	0	3
7	Богуч.	24.04.2022	0,59	0,60	0,48	0,12	4	4	0
8	Богуч.	19.06.2022	0,87	0,98	0,86	0,12	4	4	0
9	Богуч.	04.06.2023	0,83	0,96	0,80	0,16	4	4	0
10	Тал.	08.07.2021	0,85	0,82	0,83	-0,01	1	0	1
11	Тал.	15.04.2022	0,68	0,71	0,60	0,11	2	2	0
12	Тал.	15.05.2023	0,90	0,85	0,90	-0,05	1	0	1
Средн.откл.						0,002	-	-	-
n = 12							T <sub>ф</sub>	14	26
T-критерий Вилкоксона для n = 12 при p=0,05						17			
T (фактический)						14			
$T_{ф} < T_{к}$									
Сокращения: Сем. – Семилукский район Тер. – Терновский район Богуч. – Богучарский район Тал. – Таловский район Pm <sub>ф</sub> – Фитомасса фактически измеренная Pm <sub>п</sub> – Фитомасса предсказанная на основе модели									

**Способ оптимизации использования биологического ресурса лугово-пастбищных биоценозов Воронежской области.** Природные кормовые угодья и сенокосы, организуемые на луговых территориях речных пойм Воронежской области, имеют важное хозяйственное значение.

Проведение какой-либо стандартизированной оценки состояния растительного покрова луговых угодий со стороны сельскохозяйственных организаций в настоящее время затруднено по причине высокой трудоемкости классических методов прямых натурных количественных измерений, выполняемых для получения сведений о количестве надземной фитомассы луга, ее пространственной неоднородности и наличии или отсутствии изменений в сравнении с предыдущими периодами. На этом фоне имеет место объективное увеличение рисков развития деградационных процессов, оказывающих негативное влияние на сохранность ценных природных видов растений, обеспечение их устойчивого воспроизводства и функционирования всего фитоценоза.

Для оценки пространственно-временной дифференциации растительного покрова лугов может быть использован способ построения карт спектрального индекса NDVI, отображающих на коротких временных интервалах горизонтальное распределение вегетирующей фитомассы. Хронологическое сопоставление границ зон снижения значений индекса, соответствующего снижению количества надземной фитомассы, позволяет на ранних этапах выявлять потенциальные очаги изреженности травостоя. Для выбора времени выполнения укоса травяной массы луга принято ориентироваться на критерии достижения максимального уровня количества надземной фитомассы, а также на достижение требуемой фазы развития преобладающих видов растений.

При хозяйственном использовании биологического ресурса луговых растительных сообществ, важное значение имеет оценка питательности и кормовой ценности надземной фитомассы преобладающих видов растений. Используя сведения о химическом составе, характерном для ассоциаций преобладающих в структуре растительного покрова луга, можно произвести расчет кормовой ценности и питательности на единицу массы травостоя.

Уравнение расчета валовой питательности имеет вид:

$$P_v = Y_n * K_v * P, \quad (4)$$

где

$P_v$  – валовая питательность, корм.ед/га

$Y_n$  – прогнозная урожайность травяной массы при естественной влажности, т/га

$K_v$  – коэффициент перевода на сухое вещество

$P$  – питательность, корм. ед./т

Таким образом, основываясь на разработанной прогнозной модели количества надземной фитомассы луга к моменту укоса и используя сведения о химическом составе и кормовой ценности преобладающих в ассоциации видов трав, появляется возможность расчета ожидаемой валовой питательности скашиваемой травяной массы.

## 5. БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для расчета биоэнергетических характеристик растительных сообществ изучаемых луговых территорий был использован подход, учитывающий пиковые энергетические характеристики видов луговых растений, формирующих фитоценоз, а также максимальное количество надземной фитомассы, зафиксированное для каждого луга за период исследований.

Таблица 8 – Биоэнергетические характеристики по данным натурных измерений

Район	Максимум фитомассы, кг/м <sup>2</sup>	Валовая энергия, МДж/кг	Энергия, ГДж/га	S, га	Валовая энергия, ГДж/объект
Семилукский	0,80	5,10	40,80	8,94	364,8
Терновский	0,62	6,20	38,44	4,58	176,1
Богучарский	1,11	6,50	72,15	7,64	551,2
Таловский	0,88	5,15	45,32	2,34	106,0

В ходе трехлетних наблюдений и количественных учетов, были определены значения количества надземной фитомассы лугов в различные сроки вегетационного периода. В таблице 8 приведены результаты расчетов биоэнергетических характеристик исследуемых лугов.

Совокупный энергетический потенциал объектов исследования, рассчитанный на основе прямых натурных количественных измерений надземной фитомассы лугов, составляет 1198 ГДж.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Осуществленный анализ методов мониторинга динамики вегетации и состояния растительных сообществ лугов позволил установить, что методы прямого количественного учета при точности измерений имеют ряд недостатков, выражающихся в трудоемкости процесса и сложности пространственного охвата при обеспечении представительности данных. Метод дистанционного мониторинга на основе анализа вегетационных спектральных индексов позволяет выполнять оценку состояния растительного покрова территорий любого масштаба с высокой периодичностью получения данных.

2. В результате сравнительного анализа региональных особенностей сезонной динамики вегетации природных лугов представительных территорий Воронежской области были выявлены отличия в характере развития и продукционных характеристиках луговых сообществ, находящихся в различных природно-климатических зонах региона. Количество надземной фитомассы лугов имеет взаимосвязь с широтной зональностью области. Среднегодовалый максимум фитомассы в моменты сезонных пиков вегетации зафиксирован в Богучарском (1,05 кг/м<sup>2</sup>) и Таловском (0,85 кг/м<sup>2</sup>) районах области. Луга северных районов области демонстрировали меньшие значения. Минимальная продуктивность надземной фитомассы была отмечена в Терновском районе (0,61 кг/м<sup>2</sup>). Промежуточное положение занимал луг Семилукского района (0,79 кг/м<sup>2</sup>).

3. Установленные закономерности среднегодовой сезонной динамики вегетации природных растительных ассоциаций пойменных лугов выявили тесную взаимосвязь периодов максимумов фитомассы с периодами выполнения укосов, а также возникновением послеукосных минимумов и повторного отрастания травостоя, при этом сроки наступления первых сезонных максимумов фитомассы на основании которых установлена среднегодовая очередность достижения пиковых значений по исследуемому району области обнаруживается в следующей последовательности: Таловский (25.05), Терновский (04.06), Семилукский (17.06), Богучарский (18.06).

4. Характер взаимосвязи между значениями, определяемыми дистанционным методом посредством мультиспектральной съемки с расчетом индекса NDVI, и данными прямых натурных измерений количества надземной фитомассы, выявил связь между пространственным распределением значений вегетационного индекса и горизонтальным распределением надземной фитомассы луговой растительности. При этом статистически подтверждается высокая корреляционная связь при сравнении парных выборок значений количества фитомассы и индекса NDVI для Семилукского ( $r = 0,98$ ;  $R^2 = 0,97$ ), Терновского ( $r = 0,94$ ;  $R^2 = 0,89$ ), Богучарского ( $r = 0,95$ ;  $R^2 = 0,91$ ) и Таловского ( $r = 0,96$ ;  $R^2 = 0,92$ ) районов.

5. Обнаруженные значения вегетационного индекса на момент соответствующий технологической готовности к скашиванию зеленой массы

позволяют определять приближение сроков укосов на основе данных текущего дистанционного мониторинга вегетации луговой растительности.

6. Разработанная прогнозная модель для количественной дистанционной оценки надземной фитомассы лугов региона на основе значений вегетационного индекса выражается уравнением регрессии с расчетной формулой вида:

$$P_m, \text{ кг/м}^2 = 1,3338 * NDVI - 0,3023$$

7. На основе прогнозной модели предложен способ оценки валовой питательности скашиваемой травяной массы луга. В основе способа лежит использование сведений о химическом составе и кормовой ценности преобладающих в ассоциации видов растений и прогнозируемого количества надземной фитомассы к моменту укоса. Питательность рассчитывается как произведение прогнозного количества фитомассы на кормовую ценность  $1t$ , выраженную в кормовых единицах с учетом влажности травяной массы по формуле:

$$P_v, \text{ корм.ед./га} = Y_n * K_b * П$$

8. Оптимизация сельскохозяйственного использования биологического ресурса луговых травяных сообществ региона возможна при проведении дистанционного мониторинга пространственно-временной динамики вегетации луговых ассоциаций для выявления изреженности травостоя, несущей риск развития очаговой деградации фитоценоза и анализе сезонных графиков индекса NDVI для определения сроков готовности травяной массы луга к укосу, а также прогнозировании количества и валовой питательности надземной фитомассы в предукосный период на основе предложенной расчетной модели.

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ**

1) Осуществлять мониторинг пространственно-временной динамики развития надземной фитомассы луга с использованием дистанционных методов на основе мультиспектральной съемки. Участки со сниженным значением индекса (менее чем 0,20 от текущего максимума NDVI в границах косимого луга) исключать из зоны сенокосения для гарантированного достижения генеративных фаз развития и обеспечения воспроизводства растений данной ассоциации.

2) Анализировать сезонную динамику значений индекса NDVI посредством графика временных изменений. Результаты исследования показывают возможность обнаружения характерных пиков надземной фитомассы, соответствующих оптимальным периодам укоса: 0,84 – 0,89 для Семилукского, 0,71 – 0,80 для Терновского, 0,88 – 0,91 для Таловского и 0,87 – 0,91 для Богучарского районов.

3) Использовать предложенную математическую модель, которая на основе текущих актуальных значений вегетационного индекса NDVI позволяет прогнозировать валовое количество (урожайность) травяной массы с площади луга к моменту укоса. Расчет производить по формуле:  $P_m, \text{ кг/м}^2 = 1,3338 * NDVI - 0,3023$ .

4) Проводить предварительную оценку валовой питательности корма, получаемого при скашивании надземной фитомассы природных лугов по следующей формуле:  $P_v, \text{ корм.ед./га} = Y_n * K_b * П$ .

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

1) Уточнение выявленных закономерностей и повышение точности работы прогнозной математической модели за счет расширения выборки калибровочных значений при более детальном исследовании луговых территорий районов

Воронежской области, а также масштабирования моделей локального, районного и регионального уровней других территорий.

2) Изучение применимости обнаруженных закономерностей и методологических подходов к растительным объектам других типов и территорий.

3) Исследование возможностей применения прочих производных мультиспектральной съемки в виде разностных спектральных вегетационных индексов для дистанционной оценки свойств растительного покрова хозяйственно-ценных природных территорий и сельскохозяйственных угодий.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **В изданиях из перечня ВАК РФ**

1. Куликов Ю. А. Анализ региональных особенностей сезонной динамики продуктивности хозяйственно ценных биоценозов Воронежской области / Ю. А. Куликов, Е. А. Высоцкая // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2024. – Т. 20, № 1. – С. 130-135.

2. Куликов Ю. А. Прогнозирование питательности продукции фитоценозов как основа сельскохозяйственной оценки биоресурсного потенциала луговых территорий / Ю. А. Куликов, Е. А. Высоцкая // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2024. – Т. 20, № 2. – С. 73-79.

3. Куликов Ю. А. Оценка перспектив сельскохозяйственного использования биологического ресурса лугово-пастбищных биоценозов Воронежской области [Электронный ресурс] / Ю. А. Куликов, Е. А. Высоцкая // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал – 2023. – № 6(60). – Режим доступа: [https://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/6/st\\_625.pdf](https://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/6/st_625.pdf)

### **Публикации в других изданиях**

4. Высоцкая Е. А. Использование ресурсной базы луговых биоценозов Центрального Черноземья в сельском хозяйстве / Е. А. Высоцкая, Ю. А. Куликов // Достижения и перспективы в сфере производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы IV национальной научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Майский, 10 ноября 2023 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 23-26.

5. Высоцкая Е. А. Дистанционный мониторинг продуктивности лугово-пастбищных биоценозов / Е. А. Высоцкая, Ю. А. Куликов // Вавиловские чтения - 2023: Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 136-летию со дня рождения академика Н.И. Вавилова, Саратов, 23–25 ноября 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 159-168.

6. Высоцкая Е. А. Современные методы мониторинга динамики хозяйственно ценной растительной биомассы в условиях естественных лугово-пастбищных биоценозов / Е. А. Высоцкая, Ю. А. Куликов // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: материалы IX международной научно-практической конференции, Воронеж, 08–09 ноября 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 162-168.

7. Куликов Ю. А. Дистанционный мониторинг луговых территорий Воронежской области как способ оценки и сохранения биоресурсного потенциала хозяйственно-ценных видов растений / Ю. А. Куликов, Е. А. Высоцкая // Молодежь.

Наука. Инновации: сборник научных трудов по материалам II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Ярославль, 20–21 марта 2024 г. / ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ». – Ярославль: Издательство ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ», 2024. – С. 42-47.

8. Куликов Ю. А. Современные технологии оценки биоресурсного потенциала луговых угодий / Ю. А. Куликов, Е. А. Высоцкая // Актуальные проблемы и приоритетные направления развития современной ветеринарной медицины, животноводства и экологии: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, Рязань, 11 апреля 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2024. – С. 176-180.

9. Куликов Ю. А. Мультиспектральная съемка как инструмент дистанционного мониторинга состояния растительности природных территорий и агроландшафтов / Ю. А. Куликов, Е. В. Куликова // Теория и практика инновационных технологий в АПК: Материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 01 апреля – 31 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. – С. 152-157.

10. Куликов Ю. А. Теоретические основы мониторинговых исследований флористического компонента биоценозов Воронежской области / Ю. А. Куликов, Е. А. Высоцкая // Теория и практика инновационных технологий в АПК : Материалы национальной научно-практической конференции, Воронеж, 10 апреля – 16 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. – С. 22-26.

11. Куликов Ю. А. Цифровые технологии как инструмент оценки функционирования биоресурсов сенокосов и пастбищ / Ю. А. Куликов, Е. А. Высоцкая // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: Материалы XXVIII Международной научно-производственной конференции, Майский, 10–11 июня 2024 года. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2024. – С. 204-205.

12. Куликов Ю. А. Применение технологии мультиспектральной съемки для дистанционной оценки состояния травянистой растительности природных территорий / Ю. А. Куликов // Теория и практика инновационных технологий в землеустройстве и кадастрах: материалы VII национальной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ (27 сентября 2024 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – С. 101-105.

### **Свидетельство**

13. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024621868 Российская Федерация. Количественная характеристика надземной фитомассы луговой травянистой растительности в параллельном измерении со значениями спектрального вегетационного индекса NDVI / Ю. А. Куликов, Е. А. Высоцкая, Е. В. Куликова; заявитель и правообладатель Ю. А. Куликов. – Заявл. 21.04.2024 : опубл. 02.05.2024

Подписано в печать 17.01.2025. Формат 60x841/16.

Бумага кн.-журн. Печать офсетная. П.л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ № 26787

Типография ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ

394087 Воронеж, ул. Мичурина, 1