

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Куликова Юрия Алексеевича «Мониторинг и оценка функционального состояния биологического ресурса луговых фитоценозов представительных районов Воронежской области», представленную на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 1.5.20 Биологические ресурсы.

Актуальность. В условиях Центрально-Черноземного региона в хозяйственной деятельности человека активно используется надземная фитомасса луговых травяных сообществ, сформированных природными видами растений (пастбища, сенокосы). При активном ведении хозяйственной деятельности увеличивается риск деградации биоценозов, снижения разнообразия, устойчивого воспроизводства ценных видов живых организмов и их продуцентных свойств. Поэтому, необходимо проводить мониторинг и учет пространственно-временной динамики вегетации используемых растительных сообществ. Традиционные способы мониторинга состояния растительного покрова – прямое измерение и количественный подсчет, имеют такие недостатки, как большие затраты ручного труда и низкая производительность. Актуальность работы заключается в повышении эффективности методов мониторинга, учета и оценки функционального состояния растительных сообществ природных видов с помощью новых способов мониторинга и учета, основанных на анализе материалов дистанционной мультиспектральной съемки.

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 предубоенное количество надземной фитомассы на единицу площади луга. Предложен метод оценки валовой питательности скашиваемой растительной массы на основе данных количественной прогностической модели.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в получении новых знаний по взаимосвязи сезонной динамики надземной фитомассы лугов с изменением значений вегетационного индекса NDVI. 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, позволяет провести оценку питательности травяной массы представительных

районов Воронежской области и способствует рациональному использованию биоресурсного потенциала хозяйственно-ценных пяти растительных сообществ.

Методология и методы исследования. Мониторинг пространственно-временной динамики развития фитомассы природных пойменных лугов был выполнен двумя способами – прямым измерением при натурном обследовании и дистанционным при обработке материалов мультиспектральной съемки. 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».

Достоверность и обоснованность результатов исследований, научных положений, выводов, рекомендаций подтверждается тем, что исследования выполнены в течение длительного периода времени (2021-2023 гг.) и имеют широкий географический охват объектов исследования в пределах Воронежской области. Используются современные экспериментальные методы исследования; проведено сравнение результатов исследования с ранее известными данными литературных источников. Статистические методы математического анализа полученных экспериментальных данных свидетельствуют об их высокой точности и достоверности.

Публикации и апробация работы. Материал диссертации Куликова Ю. А. отражен в научных публикациях и автореферате, содержание которого соответствует содержанию диссертационной работы. Основные научные результаты, положения, выводы и рекомендации диссертационной работы опубликованы в 12 научных работах, в том числе 3 статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК. Автором получено свидетельство о государственной регистрации базы данных №2024621868 Российской Федерации «Количественная характеристика надземной фитомассы луговой травянистой растительности в параллельном измерении со значениями спектрального индекса массы NDVI». Результаты исследований апробированы на международных и национальных (всероссийских) научно-практических конференциях в г. Ростов-на-Дону (2021 г.), г. Воронеж (2023, 2024 гг.), г. Вологда (2023 г.), г. Саратов (2023 г.), г. Ярославль (2024 г.), г. Рязань (2024 г.), г. Белгород (2024 г.).

Оценка содержания диссертационной работы. Диссертационная работа структурно выдержана, изложена на 188 страницах, состоит из введения, обзора литературы, 5 глав, заключения, рекомендаций производству, перспективы дальнейшей разработки темы. Иллюстративный материал содержит 17 таблиц, 45 рисунков, 5 приложений. Библиографический список включает 170 источников, в том числе 19 – на иностранном языке.

Во **введении** (с. 4-11) доказана актуальность выбранной темы, приведены основные положения, выносимые на защиту, сформулирована цель и задачи исследования, отмечена научная новизна и практическая значимость работы.

В **главе 1** «Теоретические основы изучения биологического ресурса хозяйственно-ценных луговых фитоценозов» (с. 12-31) показано разнообразие и биоресурсный потенциал хозяйственно-ценных видов растительных организмов луговых территорий Центрального Черноземья, описана их хозяйственная ценность и продуктивность фитомассы луговых сообществ, дана классификация сенокосов и пастбищ, а также пойменных лугов. Приведены данные Росстата Воронежской области по доле сельскохозяйственных угодий и поголовью животных. Во второй части обзора литературы автор приводит методологические основы изучения динамики состояния растительных организмов луговых биоценозов, как общепринятые натурные исследования, так и современные инновационные методы, основанные на дистанционной оптической мультиспектральной съемке, описывает индекс NDVI. Проведен анализ преимуществ и недостатков описываемых методов мониторинга. Достаточно глубоко проведена проработка отечественной и зарубежной научной литературы современного поколения.

В **главе 2** «Объекты и методы исследований» (с. 32-48) соискатель приводит объекты исследований, характеризует место и условия исследований, используемые методики. Описаны почвенно-климатические условия Воронежской области, а также каждого из районов исследования, приведена их геоморфологическая характеристика, видовой состав растительных сообществ. Приведены методы мониторинга и учета состояния биоценозов, формула расчета NDVI, программное обеспечение для обработки материалов космосъемки, а также методы сопоставления и анализа взаимосвязей выборок натуральных и дистанционных измерений.

В **главе 3** «Региональные особенности, мониторинг и оценка функционального состояния луговых фитоценозов представительных районов Воронежской области» (с. 49-81) проведен анализ биологических ресурсов луговых фитоценозов по результатам натуральных и дистанционных исследований в 2021-2023 гг. По полевым выездам для каждого района исследования определены пиковые значения надземной фитомассы, рассчитан ее среднесуточный прирост, установлена взаимосвязь с суммой активных температур. В результате анализа были определены различия в продукционной способности луговых фитоценозов, расположенных в разных природно-климатических зонах Воронежской области. Наибольший прирост надземной фитомассы был обнаружен на пойменном лугу Богучарского района со среднемноголетним максимумом $1,05 \text{ кг/м}^2$, а наименьший – в Терновском районе со значением среднемноголетнего максимума $0,61 \text{ кг/м}^2$.

В результате дистанционного мониторинга фитоценозов (142 мультиспектральных спутниковых снимка) были получены цифровые карты распределения значений индекса NDVI для каждого объекта исследования на каждую дату съемки со шкалой цветокодировки значений. Анализ карт значений NDVI в начальный период вегетации за три года исследования показал наличие общей закономерности

распределения надземной фитомассы. При начале активного набора зеленой биомассы растениями лугового фитоценоза (май), на всех изучаемых объектах происходит изменение характера пространственной дифференциации. Составленные диаграммы сезонной динамики амплитуд значений индекса NDVI, показывают закономерность уменьшения пространственных различий в распределении фитомассы по мере развития надземных органов растений лугового сообщества от начала весенней вегетации до первого укоса с последующим повторением данного явления по мере послеукосного отрастания. Для оценки различий в сроках достижения максимального уровня надземной фитомассы, был выполнен расчет среднемноголетних дат первого сезонного пика NDVI за период наблюдений. Исследуемые объекты по районам их расположения были размещены в следующем порядке по датам наступления максимумов NDVI (от раннего к позднему): Таловский, Терновский, Семилукский, Богучарский.

Для определения характера взаимосвязи результатов, полученных при натуральных и дистанционных измерениях, автором было проведено сопоставление пар значений временных рядов, получаемых при сравнении дат выполнения мультиспектральной съемки и прямого измерения количества надземной фитомассы. Доказано, что существует высокая корреляция ($r = 0,93 \dots 0,98$) между дистанционно определяемым значением индекса NDVI и измеряемым при натурном обследовании количеством надземной фитомассы на единицу площади.

В главе 4 «Перспективы сельскохозяйственного использования биологического ресурса лугово-пастбищных биоценозов» (с. 82-99) показано, что состояние надземной фитомассы растительного сообщества луга в моменты хозяйственно-значимых изменений может быть оценено при анализе графика динамики вегетационного индекса. Для конкретных природно-климатических условий в сочетании с биологическими особенностями преобладающих видов луговых растений существуют характерные устойчивые интервалы максимумов NDVI. Автором было выполнено обобщающее сопоставление значений натурального и дистанционного измерений для получения модели количественной оценки фитомассы пойменных лугов. В результате было получено уравнение регрессии, лежащее в основе модели: $P_m = 1,3338 \cdot NDVI - 0,3023$, 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 $r = 0,85$, $R^2 = 0,73$.

Автором предложены способы оптимизации использования биологического ресурса лугово-пастбищных биоценозов Воронежской области. Использование способа построения карт спектрального индекса NDVI, отображающих на коротких временных интервалах горизонтальное распределение вегетирующей фитомассы, дает возможность выявления устойчивых или временных очагов изреженности, а также определения оптимальных сроков сенокоса. По разработанной расчетной формуле можно определить валовый сбор скашиваемой травяной массы с площади луга. Имея значения кормовой ценности для единицы массы надземных частей

растительной ассоциации луга, а также получив сведения об ожидаемом валовом сборе в результате укоса, появляется возможность предсказания валовой питательности скашиваемой массы луговых растений.

В главе 5 «Биоэнергетический потенциал объектов исследования» (с. 100-104) установлена биоэнергетическая характеристика лугов по данным натурных измерений и по данным дистанционного мониторинга. Совокупный энергетический потенциал объектов исследования, рассчитанный на основе прямых натурных количественных измерений надземной фитомассы лугов, составляет 1198 ГДж. Учитывая разное количество наблюдавшихся укосов в течение сезона на лугах, расположенных в разных районах Воронежской области, был выведен среднегодовалый коэффициент количества укосов – 1,6. С учетом данного коэффициента, сезонный энергетический потенциал всех исследуемых объектов составил 1917 ГДж.

Заключение (с. 102-104) и **рекомендации производству** (с. 105-107) в краткой и ясной форме обобщают исследования, целиком и полностью вытекают из результатов экспериментальных данных.

Перспективы дальнейшей разработки темы (с. 108) заключаются в дальнейшем использовании мультиспектральных съемок и вычислении прочих разностных спектральных индексов (SAVI, ARVI, MSI, NDWI, GLI и т.д.), которые обнаруживают корреляционную взаимосвязь с характеристиками растительности разного типа, а также применение полученных закономерностей к лугам других природно-климатических зон и географических территорий.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

В тоже время по диссертации Куликова Юрия Алексеевича следует отметить замечания и пожелания:

1. Надземная фитомасса при натурном обследовании измерялась в зеленом виде. Более точным показателем является выражение массы в сухом веществе.
2. В работе для проверки достоверности взаимосвязи парных значений использован критерий Вилкоксона, что лежит в основе его расчета?
3. По данным метеонаблюдений, Богучарский район является самым теплым и сухим (ГТК – 0,84). С чем связано наибольшее количество сформировавшейся надземной массы в этом районе, по сравнению с другими? И почему максимум биомассы в этом районе формировался позднее, чем в остальных?
4. Для чего необходимо вычисление амплитуды значений индекса NDVI и как оно отличалось по районам?
5. Проводили ли определение химического состава сухого вещества надземной фитомассы с каждого района? Было бы интересно посмотреть отличия и рассчитать валовую питательность, исходя из натуральных значений.
6. По какой формуле рассчитывали валовую энергию в 1 кг зеленой массы?

7. Для полного анализа работы хорошо было бы сравнить экономическую составляющую дистанционного метода с использованием NDVI и метода натуральных измерений.
8. В тексте диссертации отсутствуют ссылки на следующие источники литературы: 15, 34, 38, 40, 49, 51, 53, 71, 73, 74, 75, 76, 81, 83, 100, 103, 112, 125, 134, 143, 144, 151.

Замечаний редакционного и орфографического характера нет.

Заключение. Диссертационная работа «Мониторинг и оценка функционального состояния биологического ресурса луговых фитоценозов представительных районов Воронежской области» является законченной научно-квалификационной работой. По своей актуальности, методологии, теоретической значимости, глубине научного обоснования выводов и рекомендаций производству соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **Куликов Юрий Алексеевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 1.5.20 Биологические ресурсы.

Официальный оппонент  НЕЛЮБИНА ЖАННА СЕРГЕЕВНА
17 февраля 2025 г.

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук (4.1.1. Общее земледелие и растениеводство)
Должность: ведущий научный сотрудник
Организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»
Почтовый адрес: 427067, Россия, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34
Телефон: 8 (3412) 629698
E-mail: zhannet1976@yandex.ru

Подпись Нелюбиной Ж.С. заверяю:

Заместитель директора
по естественно-научному направлению
УдмФИЦ УрО РАН, д-р техн. наук



А. И. Коршунов