

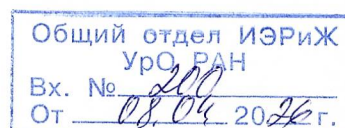
Отзыв

официального оппонента

на диссертационное исследование **Горбуновой Анастасии Михайловны**
«Состояние растительных сообществ оленьих пастбищ южных субарктических
тундр Ямала», представленное на соискание ученой степени
кандидата биологических наук по специальности
1.5.15 – Экология (биологические науки)

Диссертационная работа Горбуновой Анастасии Михайловны посвящена вопросам исследования растительных сообществ пастбищных угодий северного оленя подзоны южных субарктических тундр полуострова Ямал, оценки временной динамики запасов разных фракций фитомассы и применимости спутниковых спектрональных изображений для количественной характеристики состояния растительных сообществ пастбищ. Соискателем поставлены следующие задачи: 1) получить и проанализировать характеристики современного состояния растительных сообществ оленьих пастбищ Ямала в зависимости от степени нарушенности сообществ выпасом и положением в рельефе; 2) оценить изменение запасов разных фракций поедаемой оленями фитомассы пастбищ региона с 1930-х годов по 2017–2019 годы; 3) исследовать силу коррелятивных связей между характеристиками растительных сообществ оленьих пастбищ и значениями вегетационного индекса NDVI.

Актуальность и научно-практическая значимость представленной работы не вызывают сомнений. Анализируемый соискателем регион является абсолютным и исторически долгосрочным лидером по численности выпасаемых животных, активно использующим преимущественно экстенсивный способ развития отрасли традиционного природопользования, что генерирует проблемы с перевыпасом и пастбищной депрессией, изменением структурных показателей фитоценозов. Начиная с середины XX века, численность домашних северных оленей на Ямале постоянно увеличивалась. На фоне активного промышленного освоения территории и выводом из пастбищного оборота земель ситуация нехватки пастбищ приобретает еще более острый характер, имеющий высокую социальную значимость. Климатические трансформации последних лет инициировали изменения, направленные на рост продуктивности растительных сообществ региона южных субарктических тундр. В этом контексте территория южных



субарктических тундр Ямала демонстрирует наибольшие изменения. С начала 2000-х годов стали активно развиваться методы обработки и использования спектрональных спутниковых изображений. Адекватная и статистически обоснованная оценка происходящих изменений, выявление трендов их глубокой трансформаций возможны при привлечении современных информационных технологий, к числу которых относятся методы спутникового мониторинга, содержащие интегральные характеристики о свойствах растительного покрова. Для глубокой и полноценной оценки необходимо комплексное сопоставление дистанционных и традиционных полевых методов (геоботанических и экологических) исследований.

Теоретический вклад работы состоит в уточнении ряда методологических вопросов о связи спектральных величин спутниковых изображений и инструментально полученных значений запасов кормовых ресурсов пастбищных угодий северного оленя, влиянии рельефа на степень нарушенности и особенности распределения показателей запасов и продуктивности фитоценозов. Сопоставление срезки современных наблюдений с оценками начала 1930-х годов подтверждает основное направление трансформации растительного покрова тундровых сообществ исследуемого района в виде масштабной делихенизации.

Практическая значимость работы состоит в создании базы данных, характеризующей распределение и изменение запасов надземной фитомассы (с ее разделением на отдельные фракции), которая может быть использована для актуализации проектов пастбищного устройства, расчёта показателей оленеемкости. Полученные результаты включены в НИР 6.16/2019 по заказу Правительства ЯНАО "Мониторинг кормовых запасов южных субарктических тундр Ямала в нижнем течении р. Еркатыаха".

Оценивая новизну работы отметим, прежде всего, развитие диссертантом методологии комплексного сочетания материалов полевых инструментальных исследований, созданных баз данных, содержащих характеристику нарушенных в результате антропогенного и природного воздействия участков и разновременных спутниковых съемок Landsat периода 2005-2018 годов для пространственно-временного анализа состояния тундровых сообществ.

Методы исследования. Диссертантом использованы методы тестовых участков и полевых исследований участков тундровых сообществ в градиенте пастбищной нагрузки, дешифрирования объектов наземного покрова по спутниковым снимкам, геоинформационной и математической статистики, линейного моделирования, преобразования снимков по спектрально-индексам растительного покрова (NDVI). Теоретической и методологической основой выполнения работы явились исследования отечественных и зарубежных исследователей в области дистанционного зондирования.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается использованием корпуса материалов полевых инструментальных измерений, выполненных диссертантом самостоятельно; подготовкой базы данных исследуемых параметров, построенной с привлечением данных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения. Достоверность обработки материала обеспечивается использованием математического и статистического аппарата (дисперсионный анализ (ANOVA) – однофакторный, двухфакторный или трехфакторный; критерий Стьюдента для повторных измерений; критерий Краскела-Уоллеса; непараметрический коэффициент корреляции Спирмена (r_s), критерий Тьюки).

Полученные соискателем результаты имеют высокую теоретическую и практическую значимость для научных исследований и сельскохозяйственной отрасли производства, сохранения среды обитания коренных народов, поскольку формируют и расширяют понимание технологий автоматизированного дешифрирования спутниковых изображений и тематического картографирования пастбищных угодий северного оленя.

Результаты диссертационной работы могут быть привлечены для выполнения региональных оценок изменения кормовых запасов пастбищ северного оленя. Помимо исследования растительного покрова и флоры полуострова Ямал, выявления масштабных трансформаций под влиянием промышленного освоения, традиционного природопользования (оленоводства), были заложены и развиты методологические основы для выполнения картографирования растительного покрова Ямала.

Оценка содержания диссертации. Структура диссертации включает введение, 5 глав, заключение, выводы, список сокращений, список литературы (261 источник, из них 30,6% зарубежных исследований) и 2 приложения. Работа изложена на 144 страницах, основной текст диссертации содержит 6 таблиц и 47 рисунков.

Первая глава работы затрагивает вопросы оценки современных изменений климата и растительности Арктики, отмеченные в публикациях российских и зарубежных исследователей. Отмечена значительная пространственная гетерогенность климатогенных изменений. Соискателем приведены примеры противоречивых оценок изменений растительного покрова полуострова Ямал, связанные с различиями в нагрузке и сезонах выпаса. Приведён анализ наземных и дистанционных исследований продуктивности оленьих пастбищ.

В Главе 2 диссертационного исследования характеризуются объекты и методы исследования, участки полевых инструментальных измерений (в период 2017-2019 годы выполнено 107 геоботанических описаний, методом укусов собрано 264 пробы надземной фитомассы с 88 пробных площадей), источники и способы обработки материалов спутниковых наблюдений, дано описание математического аппарата, приведена расшифровка используемых терминов.

В Главе 3 представлены результаты полевых инструментальных исследований структуры, фитомассы и кормовых запасов растительных сообществ на полигонах Байдарата и Еркута. На основании доминантной классификации растительные сообщества исследуемых территорий отнесены к 7 типам пастбищ: 1) моховые тундры; 2) травяные тундры; 3) лишайниковые тундры; 4) кустарничковые тундры; 5) кустарниковые тундры; 6) луга; 7) болота. Проведена оценка сопряжённости показателей проективного покрытия и запасов фитомассы с рельефом, степенью их нарушенности. Выполнен анализ межгодовой изменчивости характеристик растительного покрова на примере 2017 и 2019 годов.

Важным моментом работы является проведённая автором оценка многолетней динамики характеристик растительных сообществ (1930-е и 2017-2019 годы) путём сравнения опубликованных и собственных экспедиционных данных, выполненная с использованием методов статистического анализа

(трехфакторный и двухфакторный дисперсионный анализ) (Глава 4). Выполнена оценка изменений численности выпасаемых оленей.

Изучению связи между инструментально полученными характеристиками состояния растительных сообществ (запасы фитомассы и проективное покрытие) и данными спутниковых наблюдений (на примере спектрального индекса NDVI) посвящена Глава 5. Соискателем показано, что между значениями NDVI и основными характеристиками состояния тундровых сообществ зарегистрированы положительные корреляции: для общего проективного покрытия $r_s = 0.42-0.44$; для фитомассы $r_s = 0.39-0.53$; для биомассы $r_s = 0.44-0.56$; для массы поедаемых оленями фракций фитомассы $r_s = 0.37$. Полученные закономерности могут быть экстраполированы на прилегающие территории южных субарктических тундр полуострова Ямал.

Завершает диссертационное исследование Заключение, в котором представлены основные полученные выводы. Выскажем ряд вопросов и замечаний.

1. В работе не отмечены даты выполнения сбора укосов в 2017-2019 годы. Периоды отбора не совпали с достижением растительным покровом вегетационных максимумов, что и определило межгодовую вариабельность показателей в группах деградированных и малонарушенных участков. По материалам анализа серии временных рядов индекса NDVI (съемки MODIS) сезон 2016 года завершил череду лет с более высокими значениями спектрального вегетационного индекса. В последующие 2017 и 2018 годы наблюдается падение среднесуточных показателей температуры воздуха и интенсивности прироста фитомассы по спектральным индексам. Полевой выезд соискателя в 2018 году пришелся на крайний год с низкими показателями развития фитомассы, но по времени выезда в экспедицию он совпал с максимальными показателями сезонного развития фитомассы (сезонный пик значений NDVI), и этот год в ряду всех наблюдений был представлен максимальными величинами.

С 2019 года был начался период с более высокими сезонными показателями фитомассы и температуры воздуха (+12% по сумме активных температур за год), но в сравнении с 2018 годом полевых измерений это увеличение не было выявлено соискателем, т.к. период работ не совпал с сезонным пиком значений NDVI (о чем диссертант отметил на с. 87). Экспедиционный выезд пришелся на более ранние

сроки, однако значения превысили показатели 2017 года для 13 пробных площадей (из рассмотренных 15). Адресовать исключительно диссертанту данное замечание нельзя, поскольку в работе на удалённых и труднодоступных районах возможности исследования ограничены критериями доступности транспорта, финансированием, свободой выбора диссертантом дат полевого выезда.

2. Разбиение на фракции. При анализе связи спектральных величин с показателями запасов растений и лишайников в сообществах (фитомасса, биомасса и кормовые запасы) логичнее было бы выделить фракции зелёных, хлорофилл содержащих частей и обозначать присутствие остальных фракций. Ранее сделанные исследования показывают, что древесные части кустарников/кустарничков, ветошь, подстилка мало влияют на показатели отражения красного и ближнего инфракрасного электромагнитного диапазонов, но дают большие величины запасов (по нашей оценке, до 70% запаса фитомассы в кустарниковых сообществах приходится на древесные части). Отдельно необходимо рассматривать и сообщества с доминированием лишайников из-за очень малых концентраций пигментов (в сравнении с сосудистыми растениями), но важным участием их фитомассы в сложении сообществ.

3. Неожиданны результаты, демонстрирующие, что «самые низкие значения проективного покрытия и запаса фитомассы приурочены к поймам» (Вывод 3, с.110). Ранее сделанные исследования демонстрируют, что пойменные участки тундровой зоны имеют более высокие показатели запаса.

4. Автором отмечено, что на участках описаний полигона Еркута проективное покрытие лишайников в 2017 г. составило $33 \pm 9\%$, в 2018 г. $5 \pm 9\%$, а в 2019 г. $12 \pm 2\%$ (с. 101). Если снижение в 6.6 раз в период 2017–2018 годы можно объяснить нарушениями при выпасе, то дальнейший их рост к 2019 году вызывает вопросы.

5. В чем биологический смысл использования показателя $NDVI_{AVG}$ (среднее арифметическое значение индекса NDVI за сезон вегетации) по съемке MODIS? Ведь полученная величина выше показателей начала/конца вегетационного сезона, но ниже максимальной.

6. Для площадок описаний района Еркуты, на наш взгляд, нет смысла искать связь величин индекса NDVI (по Landsat) и проективных покрытий лишайников

или запасов их фитомассы, т.к. суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* в талломах лишайника в 13-15 раз ниже сосудистых растений¹. Проективный запас пигментов лишайниковых фитоценозов низкий, спектры отражения приближены к лишенным растительности почвам и грунтам и даже небольшое участие сосудистых растений в лишайниковых сообществах изменяет спектральные показатели.

7. Диссертантом отмечено, что «в камеральных условиях укосы разбирали по фракциям: разнотравье, осоки, злаки, мхи, лишайники, подстилка, ветошь, кустарники (отдельно листья и древесина)» (с. 48). Но в дальнейшем изложении классификация значительно упрощена, выделить в показателях запаса соотношение древесных и зелёных частей затруднительно (данную характеристику демонстрирует соотношение кормовых запасов и биомассы?).

8. В Главе 4 «Многолетняя динамика характеристик растительных сообществ и численности оленей» диссертантом проведён анализ современного состояния растительного покрова в сравнение с литературными и архивными данными 1930-х годов (Андреев, 1934). Основной массив данных затрагивает проблему изменения суммарных запасов кормовых растений и лишайников («свели все фракции запасов кормов к двум – лишайниковые и зелёные», с. 91), однако вопросу изменений структуры сообществ внимание не уделено. Изменения соотношения видового состава могли бы быть более выражены, чем суммарные показатели запасов фитомассы. При сравнении данных 30-х годов XX века не учтено время проведения укосов, что актуально, прежде всего, для зелёных кормов.

Заключение

Представленная соискателем диссертационная работа продолжает традиции геоботанических исследований западно-сибирской (Ямальской) тундры, заложенные в лаборатории фитомониторинга и охраны растительного мира, а затем лаборатории биоразнообразия растительного мира и микобиоты ИЭРиЖ УрО РАН и связанные с именами Маргариты Алексеевны Магомедовой, Людмилы Михайловны Морозовой, Светланы Николаевны Эктовой и др. Следует отметить,

¹ К примеру, запас пигментов в талломе кладонии оленьей варьирует в пределах 0.4 ± 0.03 мг/г сухой массы, к. звездчатой – 0.35 ± 0.028 мг/г сухой массы. В сосудистых растениях содержание показателя значительно выше и достигает 5.10 ± 0.24 (листья березы карликовой), 5.34 ± 0.3 мг/г сухой массы (осока водяная).

что несмотря на имеющиеся замечания исследователь полностью выполнил поставленные перед ним задачи, среди которых:

- получены и проанализированы характеристики современного состояния растительных сообществ оленьих пастбищ (проективное покрытие растений; структура и запасы надземной фитомассы; кормовые запасы) южных тундр полуострова Ямал в зависимости от степени нарушенности сообществ, нагрузки выпаса и форм рельефа, на которых они сформированы;
- дана оценка изменений запасов разных фракций употребляемой оленями фитомассы на пастбищах в подзоне южных субарктических тундр полуострова Ямал с 1930-х гг. по 2017 – 2019 годы;
- исследованы силы коррелятивных связей между характеристиками растительных сообществ оленьих пастбищ и значениями вегетационного индекса NDVI.

Важным достоинством работы является собранный и обработанный соискателем корпус полевых инструментальных измерений фитомассы (264 укоса с 88 пробных площадей) участков водосборов рек Байдарата и Еркута.

Полученные результаты прошли апробацию на конференциях российского и международного уровней (более 12), опубликованы в печати (14 работ), в том числе в 2 научных изданиях, включенных в список ВАК Минобрнауки России (журналы «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», «Экология»). В автореферате полностью отражено содержание диссертационного исследования. Представленная работа и перечень выполненных публикаций свидетельствуют о том, что диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, которая вносит значительный вклад в теорию и практику использования дистанционных методов изучения растительного покрова южных субарктических тундр, а также методологию и оценку точности тематического картирования наземного покрова полуострова Ямал. Полученные результаты создают теоретическую основу для дальнейшего развития направления, связанного с привлечением материалов спутниковых съёмки.

На основании вышеизложенного считаю, что проведённое исследование, уровень обработки, апробации и представления материала **соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание степени кандидата биологических наук**, перечисленным в пунктах 9-11, 13, 14

