

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Каверина Дмитрия Александровича

на тему «Температурные режимы почв Субарктики европейского северо-востока в условиях современных климатических и ландшафтных изменений», представленной на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 1.6.12 – физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов

Диссертационная работа Д.А. Каверина выполнена в Институте биологии Коми научного центра УО РАН – обособленном подразделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Коми научный центр УО РАН».

Работа состоит из введения, 8 глав, заключения, выводов, списка литературы (482 наименований из которых 178 на иностранных языках), 61 рисунка, 27 таблиц и 4 приложений общим объемом 380 страниц.

Настоящее диссертационное исследование направлено на решение фундаментальной научной задачи, которая связана с проблемой пространственно-временной дифференциации температурных режимов почв, функционирующих в современных климатических и ландшафтных условиях в субарктических геосистемах европейского северо-востока России.

Выявленные в работе закономерности пространственно-временной дифференциации температурных режимов почв субарктических геосистем имеют большое значение для решения научных и прикладных проблем изучаемого региона. Значительный интерес представляет подходы к классификации почв и их комплексное применение в прогнозировании временной и пространственной дифференциации температуры и глубины сезонного протаивания почв субарктических геосистем в условиях ландшафтно-климатических изменений в настоящее время и в будущем.

Европейский северо-восток России представляет уникальный регион с обширным тундрово-таежным экотонном, охватывающим разнообразные типы криолитозоны, ландшафтов и климата с нарастающей суровостью к северу. Здесь характерны как деградирующие, так и агградирующие многолетнемерзлые породы, имеются экосистемно-защищенные мерзлотные ландшафты, обеспечивающие относительную устойчивость субарктических геосистем в настоящее время и определяющие специфику региона. Изучение динамичности ландшафтной структуры региона и устойчивости субарктических геосистем определяют актуальность и значимость проведенных автором многолетних научных исследований.

Личный вклад автора. В основу данной работы легли материалы многолетних научных исследований автора. Автор участвовал во всех этапах исследований: постановке проблемы, формулировке цели и задач, планировании и проведении полевых работ, получении исходных данных, их анализе, обсуждении и обобщении, разработке теоретических положений и усовершенствовании практических методов.

Впервые в субарктических ландшафтах северо-востока европейской России проведено комплексное изучение температурных режимов и сопряженных геофизиологических условий функционирования разных типов почв. Проанализированы годовые циклы температурных режимов почв и подстилающих пород во взаимосвязи с климатическими и ландшафтными характеристиками. Показан количественный вклад климатических (средние годовые температуры воздуха, суммы положительных и отрицательных температур воздуха, индекс морозности воздуха) и ландшафтных факторов (мощность поверхностного органогенного горизонта и влажность почв, высота растительного и снежного покрова, рельеф) в пространственно-временную дифференциацию глубины сезонного протаивания почв.

Научная новизна. Впервые для региона на основе геоинформационного анализа климатических характеристик (средние годовые температуры воздуха, суммы положительных и отрицательных температур воздуха, годовое

количество осадков) и индексов (морозности воздуха, сухости холодного периода, относительной континентальности климата) определены климатические маркеры географической дифференциации почвенно-геокриологических границ. Методом множественного регрессионного анализа рассчитаны региональные пространственные модели, позволяющие прогнозировать температурные режимы почв на основе данных количественных климатических показателей. Выявлена региональная специфика влияния антропогенных изменений ландшафтных компонентов на температурное состояние почв субарктических геосистем, оценено влияние климатических и ландшафтных изменений на температурные режимы почв тундровых геосистем криолитозоны. Адаптирован и усовершенствован комплекс методов исследований для всего разнообразия температурных режимов и геокриологических условий субарктических геосистем.

Обоснованность научных положений и достоверность выводов автора подтверждаются результатами исследований, проводившихся автором лично и выполненных под его руководством. Основными итогами исследований являются следующие защищаемые положения:

1. Значительная заболоченность тундрово-таежного экотона европейского северо-востока России обуславливает широкое распространение экосистемно-защищенных (с мощным торфяным горизонтом) мерзлотных почв, относительно устойчивых к повышению температуры и протаиванию в условиях современного изменения климата.

2. Антропогенные воздействия на субарктические геосистемы приводят к трансформации экосистемной защиты почв, вызывая различные по выраженности и направленности изменения температурных режимов почв, приводящим как к протаиванию, так и формированию многолетнемерзлых горизонтов в почвах и почвообразующих породах.

3. Предложенная температурно-мерзлотная классификационная компонента позволяет эффективно дифференцировать температурные режимы и геокриологические условия функционирования почв при

современных климатических и ландшафтных изменениях в субарктическом регионе, охватывающем тундрово-таежный экотон с высокотемпературной криолитозоной. Выявленное многообразие температурных режимов почв выходит за рамки традиционных классификаций, лишь частично отражающих дифференциацию температурных режимов почв региона.

4. Комплексное применение статистических и геоинформационных моделей позволяет прогнозировать временную и пространственную дифференциацию температуры и глубины сезонного протаивания почв субарктических геосистем при наличии доступных количественных показателей климатических и ландшафтных характеристик.

Диссертация написана неплохим, понятным языком. Структура работы достаточно четкая и логичная.

Первая глава диссертации посвящена истории изучения температурных режимов почв и подстилающих пород во взаимосвязи с климатическими и ландшафтными компонентами. Проанализировано большое количество научной литературы по истории исследований температуры почв в различных ландшафтных условиях, по применению геоинформационных и ландшафтных методов, по проблемным вопросам субарктических геосистем, связанных с температурой почв и глубины залегания кровли многолетнемерзлых пород.

Во второй главе определены объекты исследований – физико-географические условия как элементы оценки, определяющие дифференциацию температуры почв субарктических геосистем, и физико-географические районы как основы классификации рассматриваемого региона, а также почвы естественных и нарушенных геосистем, глубина сезонного протаивания и объекты исследований климатических и ландшафтных условий формирования температурного режима почв.

Глава третья посвящена методологическим подходам и методам исследований. Комплексность исследований и системный подход, принятые в исследованиях автора, определяются сопряженным характером и взаимодополняемостью методов исследований – комплекса полевых и

лабораторных методов, геоинформационного анализа и статистических методов.

В четвертой главе обобщены исследования по строению и свойствам почв и подстилающих пород. Рассмотрены мерзлотные и сезоннопромерзающие почвы с их основными характеристиками.

В главе пятой рассмотрены температурные режимы почв естественных тундровых и лесных геосистем. Разделы главы хорошо проиллюстрированы хроноизоплетами от 1 до 10 м, охарактеризованы суммы отрицательных и положительных температур, средними месячными и годовыми температурами на различных глубинах.

Шестая глава посвящена анализу влияния ландшафтных изменений на температурные режимы почв – при постагрогенных сукцессиях, эксплуатации автодороги с цементно-бетонным покрытием, осушении термокарстового озера и использовании прозрачных камер на поверхности тундры. Здесь приведены результаты оригинальных мониторинговых наблюдений за температурой почв и грунтов. Результаты этих исследований послужили основой для второго защищаемого положения по антропогенным воздействиям на субарктические геосистемы. Практическая значимость полученных результатов весьма ценна. Данная глава полностью посвящена разработке второго защищаемого положения диссертационной работы.

В седьмой главе приведен анализ климатических и ландшафтных условий формирования температурного режима почв. Геоинформационный анализ определяет климатические характеристики и индексы, маркирующие границы геокриологических подзон с различной долей мерзлотных почв в субарктической части европейского северо-востока России. Значимыми климатическими маркерами ($K_{var}=0-4$) определяются такие характеристики и индексы как суммы положительных температур воздуха (СПТ), среднегодовое количество осадков (РСП), индекс сухости (D), индекс морозности F. Средними маркерами почвенно-геокриологических границ условно можно считать климатические характеристики и индексы с

коэффициентами вариации в диапазоне 4-8: количество осадков холодного периода (P_w), альтернативный индекс морозности (F_a), индекс относительной суровости климата (I). В итоге, комбинация геоинформационного и статистического анализов выявила наиболее надежный маркер – индекс морозности воздуха F , выделяющий южные пределы геокриологических подзон, где почвы функционируют в условиях сплошного ($\geq 90\%$; $F=0,62$), прерывистого ($50-90\%$; $F=0,61$), массивно-островного ($10-50\%$; $F=0,60$) и редкоостровного ($<10\%$; $F=0,57$) распространения многолетнемерзлых пород.

Определено, что наиболее значимым климатическим предиктором $T_{\text{Пгод}}$ всех рассматриваемых глубин почвы (0, 20, 50 и 100 см) является сумма осадков января и февраля ($PI+II$) – самых холодных ($-21,2^\circ\text{C}$) и сухих месяцев (49,5 мм). Определены прогнозируемые климатические предикторы и характеристики температур почв на разных глубинах для оценки прогнозируемых температур на ближайшие 10 лет по климатическим трендам Росгидромета.

Также, определен процентный вклад ландшафтных факторов в пространственную дифференциацию мощности сезонно-талого слоя торфяных мерзлотных почв – это объемная влажность и относительная высота поверхности (18 и 16% соответственно) для кустарничковых бугров, и мощность снежного покрова и угол наклона поверхности (21 и 18% соответственно) для оголенных пятен бугров.

По исследованиям на площадке CALM 4ГТ выявлено влияние ландшафтных факторов на межгодовую изменчивость глубины сезонного протаивания по результатам множественного регрессионного анализа. Максимальная взаимосвязь наблюдается между глубиной сезонного протаивания и мощностью торфяного горизонта. Относительно высокая доля значимых регрессионных коэффициентов в линейных моделях выявлена для влажности почв и мезорельефа.

Следует отметить также, что получены хорошие результаты по

наблюдениям просадок поверхности мерзлотных почв, глубины сезонно-талого слоя и опускания кровли многолетнемерзлых пород в зависимости от микроландшафтных различий. Эта работа была ранее опубликована, а теперь она дополнена. Есть конечно моменты для дискуссии в связи с использованием спутниковых снимков ALOS PALSAR, но эта работа оригинальна и весьма ценна в научном отношении.

В главе восьмой рассматриваются классификационный анализ и географические закономерности температурного режима почв субарктических геосистем на примере северо-востока европейской части России. В качестве основы приняты были классификации В.Н. Димо (1972) и Keys to Soil Taxonomy (2014). Автором указаны некоторые недостатки, например, изменение температурных градаций с интервалом 2°C, чтобы разделить относительно теплые и холодные как мерзлотные, так и сезоннопромерзающие профили.

В качестве классификационных критериев предложены следующие градации температурных режимов почв по значению $T_{\text{год}}$: <-2 °C (очень холодные), от -2 до 0 °C (холодные), от 0 до +2 °C (умеренно-холодные), от +2 до +4 °C (прохладные). **Диапазоны глубины сезонного промерзания (мощности СМС):** <0,5 м (с поверхностным сезонным промерзанием), 0,5–1 м (с мелким сезонным промерзанием), 1–2 м (со среднеглубинным сезонным промерзанием), >2 м (с глубоким сезонным промерзанием). Для указания глубин сливания сезонной и многолетней мерзлоты использованы термины «приповерхностно сливающиеся» (до 0,5 м) и «близкосливающиеся» (0,5-1 м). **Градации глубины залегания ММП:** <1 м (мелкомерзлотные), 1-2 м (среднеглубинные мерзлотные), 2-3 м (глубокомерзлотные), >3 м (немерзлотные). Для отображения классификационных названий почв по компоненте используется последовательность $T_{\text{год}}$ -ММП-СМС.

Автором предлагается **упрощенная система классификационных названий почв** предложены сокращения подтипов по среднегодовой температуре почв: ОХ – очень холодные; Х – холодные; УХ – умеренно-

холодные; П – прохладные; типов по глубине залегания ММП: ММ – мелкомерзлотные; СМ – среднеглубинные мерзлотные; ГМ – глубокомерзлотные; НМ – немерзлотные; подтипов по глубине сезонного промерзания: ПС – приповерхностно сливающиеся; БС – близкосливающиеся; ПСП – с поверхностным сезонным промерзанием; МСП – с мелким сезонным промерзанием; ССП – со среднеглубинным сезонным промерзанием; ГСП – с глубоким сезонным промерзанием. Краткие классификационные названия предложено соединять в формулы, например, УХ/НМ/ПСП. Автором на рис. 58 представлена Схема расположения почв согласно температурно-мерзлотной компоненте, а также на рис. 59 – Типы почвенных профилей с различными комбинациями сезонно- и многолетнемерзлых горизонтов в середине вегетационного периода для района 1. Также им приводится использование классификации почв в переходных мерзлотных условиях в котловинах термокарстового озера. В результате, динамика температурно-мерзлотных условий почв на участках с глубокозалегающими ММП характеризовалась как **П/НМ(10 м)/МСП - П/НМ(10-15 м)/МСП**.

В условиях Субарктики с различными типами криолитозоны наиболее ценным является понятие об экосистемной защите торфяных мерзлотных почв с повышенной устойчивостью к многолетнему протаиванию при современном изменении климата. Общая доля экосистемно-защищенных мерзлотных почв характеризуется максимумом (21–25 %) в подзонах прерывистого и массивно-островного распространения ММП, в центральной части тундрово-таежного экотона. Геоинформационный анализ почвенного покрова центральной части регионального экотона показал, что общая доля экосистемно-защищенных мерзлотных почв близка к данному показателю, учитывая, что только доля мелкомерзлотных профилей достигает 18 %.

Результаты исследований, отраженные в седьмой и восьмой главах послужили основой для третьего и четвертого защищаемых положений.

В Заключении результаты проделанной работы сведены в единые выводы, резюмирующие защищаемые положения диссертации.

Вместе с тем нужно высказать несколько замечаний по диссертации:

1. В тексте диссертации имеется некоторое количество ошибок в оформлении, но, в целом, их объем не очень значительный. Это относится в первую очередь на ссылки в коллективные монографии или атласы, когда пишется в скобке без трех точек, например, «Атлас, 2011», а должно быть «Атлас..., 2011».

2. Не так много, но в тексте встречается «свободное» толкование терминами, например, «глубина или высота» снежного покрова (вместо мощность снежного покрова), «неплошное» распространение многолетнемерзлых пород (вместо прерывистого, островного и спорадического), средняя годовая температура «уменьшается» (вместо понижается), в некоторых рисунках (ландшафтных профилях) нет горизонтального масштаба.

3. Нет четкой научной разработки основных положений, выносимых на защиту в отдельных главах. Например, первое защищаемое положение о широком распространении экосистемно-защищенных мерзлотных почв «размазано» по нескольким главам, а третье и четвертое защищаемые положения «растворены» в 7 и 8 главах. Практически приходится догадываться, что защищаемые положения автора основываются на его личных научных разработках в разных главах.

4. Несколько удивило то, что в работе нет картографических произведений, которые составлены по предлагаемой автором классификацией.

В целом, работа изложена достаточно понятно. Несмотря на сделанные замечания, диссертация представляет собой завершенное актуальное научное исследование, направленное на выявление пока еще слабо изученных закономерностей температурных режимов почв субарктических геосистем,

функционирующих в условиях современных климатических и ландшафтных изменений.

Исследование автора является оригинальным и обладает новизной. Обобщения выполнены лично автором. Содержание диссертации соответствует указанной специальности. Оформление рукописи соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам. Основные положения диссертации опубликованы в достаточном количестве печатных работ, в том числе изданиях, индексируемых Scopus и WOS, и из списка ВАК. Результаты исследований докладывались автором на многочисленных российских и международных научных конференциях.

Содержание автореферата соответствует тексту диссертации, а автореферат и опубликованные работы отражают содержание диссертации.

Таким образом, диссертация автора является успешной научно-квалификационной работой. В ней содержится создание единой системы исследований по температурному режиму почв Субарктики европейского северо-востока, многие результаты которой являются оригинальными, обладают научной новизной и представляют практическую ценность.

Все выше перечисленное позволяет заключить, что диссертационное исследование Каверина Дмитрия Александровича «Температурные режимы почв Субарктики европейского северо-востока в условиях современных климатических и ландшафтных изменений», удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям, и соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №13, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук. И автор заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора географических наук по специальности 1.6.12 – физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов.

Заместитель директора ФГБУН
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова
Сибирского отделения Российской
академии наук (ИМЗ СО РАН),
доктор географических наук

Федоров Александр Николаевич

16.05.2022

677010, Якутск,
ул. Мерзлотная, дом 36
тел: +7(4112)334-856, +7-964-421-3376,
e-mail: fedorov@mpi.ysn.ru (anfed@rambler.ru)
<http://www.mpi.ysn.ru>



Я, Федоров Александр Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.