

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию ПЕТРОВА Дмитрия Григорьевича «ПИРОГЕННЫЕ ПОЧВЫ БОРЕАЛЬНЫХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ РОССИИ: ДИНАМИКА СВОЙСТВ И ИНФОРМАЦИОННАЯ РОЛЬ», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности: 1.6.12 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов.

Познание разнообразия природных комплексов одна из основных проблем современной науки. Особенно это относится к таким сложноорганизованным системам, как почва и почвенный покров. Данная проблема обретает еще большую значимость в регионах, где возникают новые связи и соотношения почв со средой, вызванные лесными пожарами, пирогенезом и криогенными процессами. Поэтому, тема диссертационной работы Д.Г. Петрова, направленная на рассмотрение почвенных записей пирогенных событий голоцена в ледниково-карстовых ландшафтах северной тайги ЕТР, и сравнение свойств и особенностей миграции пирогенных продуктов по профилю современных почв средней и северной тайги, а также кустарниковой тундры СЗС, несомненно, актуальна.

Для достижения поставленной цели, соискателем на основе комплекса современных полевых и лабораторных методов получены в работе теоретические и практические результаты, которые позволяют: (1) дополнять палеореконструкции климатических параметров на качественном уровне, а также реконструкции растительности и пирогенной активности (частоты пожаров) в течение голоцена; (2) прогнозировать изменения свойств почв после пожаров, а также скорости восстановления растительных сукцессий; (3) оценивать продолжительность естественного интервала между пожарами, интенсивность и дальность миграции углистых частиц, элементов питания растений и минеральных компонентов почвы в зависимости от параметров пожара.

Диссертация имеет строгую и обоснованную структуру. Работа состоит из введения, 9 глав, выводов, заключения, списка литературы, включающего 293 источника, из них 155 на иностранном языке, 7 интернет источников и 4-х приложений. Содержательная часть диссертации изложена на 202 страницах, иллюстрирована 17 таблицами, 88 рисунками, общий объем диссертации с приложениями 284 страницы. Автореферат в полной мере отражает представленные в диссертации материалы.

Во введении (6-13 стр.) охарактеризованы актуальность, цель и задачи работы, объекты и методы исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены сведения об апробации работы и публикациях по теме диссертации, структуре и объеме работы, защищаемые положения и личный вклад автора в решении поставленной проблемы.

В первой главе диссертации (14-47 стр.), соискателем на основе анализа многочисленных литературных данных, подробно рассматриваются основные функции, описывающие поведение пожара, а также изменения, которые он вызывает после своего прохождения. Основные взаимосвязи факторов пожара, объектов воздействия пирогенной активности и постпирогенных изменений почв обобщены на рисунке 1, где Д. Г. Петров на основе обзора литературы выделяет преимущественно физические и химические изменения почв. Сила, интенсивность и устойчивость пожара, образующие т. н. «треугольник» его основных параметров, занимают место между драйверами пожара и объектами пирогенной активности, определяя постпирогенные изменения почв. В целом глава отвечает своему назначению, способствуя дальнейшему раскрытию основных положений работы, почвенно-географической интерпретации воззрений и результатов автора.

Современные представления об информационной роли постпирогенных почв представлены в главе 2 (стр. 48-71). Здесь рассмотрены морфологические трансформации постпирогенных почв и основные продукты пожара с точки зрения их информационной ценности. Глава основана на представлении почвы как памяти природной среды по В. О. Таргульяну и И. А. Соколову (1978). Рассматривается информационная емкость продуктов пожара в палеоархиве и по мнению соискателя, угли представляются наиболее перспективным объектом абсолютного и относительного датирования в почвенных пирогенных палеоархивах.

В главе 3 (72-90 стр.) представлена информация по материалам и методам исследования. Основные параметры, а также почвы и растительный покров районов исследований обобщены в таблице на основе ранних исследований (Горячкин, Шаврина, 1997 и другие). В данной главе диссертации в обобщенном виде показаны ключевые участки и дана общая характеристика объектов

исследования (район исследований, количество разрезов, основные доминирующие почвы и возраст пирогенных палеоархивов кал. л. н.). Объекты исследования представлены постпирогенными почвами в экосистемах с разной частотой пожаров и межпожарным интервалом. Здесь же подробно рассмотрены основные методы исследований пирогенных почвенных палеоархивов и методы исследований актуальных постпирогенных почв.

К данной главе имеются несколько вопросов. Первый (стр. 76), почему в качестве объектов исследований информационной роли пирогенных почв были выбраны ледниково-карстовые ландшафты бассейна Кулоя? Являются ли эти ландшафты типичными для в подзоне северной тайги Архангельской области, какова их площадь и можно ли полученные результаты «тиражировать» на подобные огромные территории бореальных и субарктических областей?

Второй (стр. 80), к сожалению нет такой же информации по отношению выбора объектов исследований для определения динамики свойств почв на территории Пинежского (Архангельской области) и Печоро-Илычского (Республики Коми) заповедников в подзоне средней тайги (с влиянием предгорий Урала), а также для изучения миграции продуктов пожаров на территории СЗС. Здесь необходимы подробные пояснения автора об обоснованности выборов объектов исследования.

Четвертая глава («Информационное содержание пирогенных палеоархивов севера ЕТР») – результат личного вклада автора в изучение реконструкции хронологии палеопожаров по почвенной записи и выявления периодов повышенной пирогенной активности. В данной главе (91-116 стр.) диссертантом представлены результаты радиоуглеродного датирования углистого материала из пирогенно-почвенных палеоархивов карстовых ландшафтов бассейна Кулоя. Из представленных данных Д.Г. Петров формулирует три вывода: (1) пожары в карстовых ландшафтах бассейна Кулоя проходили во все периоды голоцена; (2) сами палеоархивы в карстовых воронках просадочного происхождения – разновозрастные и (3) в связи с этим записывают разные периоды голоцена с разной степенью полноты и детальности.

На основе результатов собственных исследований, автор показывает, что структура всех исследованных пирогенно-почвенных палеоархивов по распределению концентрации антракомассы (стр.106) была сходной – повышения между воронками (остаточные поверхности) характеризовались минимальным количеством углистого материала на уровне 2600 ± 140 ppm; склоны карстовых воронок – 12330 ± 2870 ppm; центр воронки – 110000 ± 33670 ppm. С увеличением количества пирогенного материала информационная емкость архива увеличивалась, что выражалось в более мощных пирогенных морфонах и горизонтах. Наблюдалось резкое уменьшение размеров углистых частиц с глубиной, они становились более окатанными и делились на пластинки по исходной структуре древесины. В центре воронок до глубины 180 см по-прежнему содержались угли хорошей сохранности размером >5 мм, тогда как в почвах между воронками углей крупнее 1 мм не было уже на глубине 50-60 см, и часть из них имела признаки механической деградации.

Глава 5 «Постпирогенная трансформация морфологии почв и растительного покрова» является самой объемной в диссертации Петрова Д.Г. (117-158 стр.). Здесь рассматривается неоднородная структура разновозрастных гарей и горельников, которая определяется интенсивностью пожара, степенью нарушения почвенного растительного покрова, органогенных и минеральных горизонтов почв. На основе изучения нарушений растительного и почвенного покровов соискателем реконструированы основные сценарии распространения пожаров на исследованных ключевых участках (стр. 151): «А» – неоднородный. Наиболее типичный сценарий развития пожара, наблюдался в сосняках-зеленомошниках; «Б» – однородный. Распространение пожара было резко подавлено влажностью окружающей гарь экосистемы, сценарий реализовался при значительном изменении влажности и/или типа ЛГМ; «В» – неоднородный с обрезанной границей. Распространение пожара было ограничено естественным препятствием или пожарным рвом; «Г» – очаговый. В условиях высокой неоднородности рельефа пожар сформировал множество очагов интенсивного горения на повышениях, их консолидацию ограничивали естественные препятствия (аккумулятивные формы, влажные участки и др.). Каждый очаг мог иметь свои зоны периферии и границы. Сценарий характерен для сильных пожаров; «Д» – без выраженной зоны периферии. Из-за резкого изменения в составе и влажности ЛГМ пожар резко терял силу и интенсивность, образуя гарь или горельник с невыраженной зоной периферии.

Автор предполагаем, что данные сценарии распространения пожаров носят общий характер для севера ЕТР и СЗС. Далее, соискатель сопоставил данные по пожарам разной силы и пожарам в разных структурных зонах гарей, основанные на полевых наблюдениях, с максимальной

температурой карбонизации (далее МТК) углистых частиц, рассчитанной на основе данных рамановской спектроскопии для углей с разных гарей (горельников) и их структурных зон (очаг, граница). Слабые пожары и пожары на границе гари оставляли после себя угли с МТК 740 ± 29 °С и при этом характеризовались наименьшей вариабельностью значений (стр.152). Пожары средней силы оставляли после себя угли с МТК 773 ± 48 °С и характеризовались наибольшей вариабельностью ($V=6\%$) из современных пожаров, что мы связываем с их наибольшей пространственной неоднородностью. Сильные пожары и пожары в очаге гари оставляли после себя угли с МТК 788 ± 33 °С и достоверно отличались от слабых пожаров (и пожаров на границе гари) по t-критерию при уровне значимости 0,01.

Таким образом, расчетные МТК коррелировали с определенной в поле силой пожара и выделенными структурными зонами гари, а распределение МТК углистых частиц подтверждает положение о пространственной неоднородности гарей по интенсивности температурного воздействия. По сравнению с современными углями, углистые частицы из глубоких палеоархивов характеризовались более высокими значениями МТК и их большей вариабельностью ($V=10\%$), что может быть связано по мнению соискателя, с диагенетическими изменениями углей при длительном нахождении в почве, а также избирательным сохранением углей, образовавшихся при более высоких температурах.

Исследование хронорядов пирогенных почв выявило основные сценарии их послепожарной трансформации. В *альфегумусовых почвах* при воздействии слабоинтенсивного пожара менялся характер и мощность верхнего горизонта; при воздействии высокоинтенсивного пожара возникала почвенная эрозия, через год или два после пожара – вывалы, диагностируемые в профиле по многочисленным морфонам. *Текстурно-дифференцированные и текстурно-метаморфические почвы* при воздействии слабоинтенсивного пожара обычно сохраняли морфологическую целостность; при воздействии интенсивного пожара с высокой частотой подвергались заболачиванию, причем через несколько лет после пожара увеличивалась мощность подстилки, последняя становилась более оторфованной. *Глеевые почвы* демонстрировали изменение характера и мощности верхних горизонтов при пожарах слабой интенсивности; при пожарах сильной интенсивности при близком залегании ММП наблюдалось изменение растительного покрова в сторону увеличения числа гидрофильных видов (сфагнум, осоки, пушицы и др.), а также усиление криотурбаций, приводящих к погребению углей в минеральной части почвы.

К данной главе имеются замечания неправильного использования таксонов почвенной классификации или это может относиться к простым опечаткам редакционного характера. Начиная с характеристики объекта исследования, некорректно используются и приводятся несопоставимое сравнение почв, то на уровне отделов и типов почв (альфегумусовые почвы (стр. 11, 153, 154) или почвы альфегумусового отдела (стр.16, автореферат), текстурно-дифференцированные и *текстурно* (структурно)-метаморфические, глеевые почвы (стр.18, автореферат; 153, 154).

Глава 6 (159-177 стр.) посвящена постпирогенной трансформация физико-химических свойств почв гарей. Здесь представлено распределение по профилю постпирогенных почв рН, $Fe_{длт}$ и $Fe_{окс}$, обменных оснований, $C_{орг}$ и $N_{общ}$. Показано быстрое восстановление отношения C/N в верхних горизонтах почв гарей до допожарного уровня и выше; увеличение несиликатного железа в минеральных горизонтах почв гарей; совместное увеличение $C_{орг}$ и обменного Са и совместное увеличение гидролитической кислотности и $Fe_{длт}$ в горизонте Е в зависимости от силы пожара.

Показана неоднородность в распределении рН, $Fe_{длт}$ и C/N по зонам гари в зависимости от интенсивности пожара. Физико-химические свойства постпирогенных почв разделены на категории по сохранности и выраженности (стр. 173). Наиболее выраженными, но непостоянными постпирогенными признаками обладают верхние органогенные почвенные горизонты. Наиболее выраженные и постоянные послепожарные свойства – окраска и содержание $Fe_{длт}$ железа – диагностированы в верхних и срединных минеральных горизонтах. В соответствии с проведенными морфологическими и физико-химическими исследованиями соискателем определена зависимость между возможностью диагностирования параметра и определения возраста гари или горельника (стр.177).

Таким образом, большинство постпирогенных свойств обладают определенным характерным временем пребывания (восстановления до исходного состояния) и приурочены к определенным участкам гари или горельника. Наиболее продолжительным временем пребывания обладают

морфологические признаки прошедших пожаров, в особенности аккумуляции (горизонты, морфоны) углистых частиц и типы их распределения по профилю почв.

В седьмой главе (стр. 178-186) представлены модели миграции углистых частиц в постпирогенных почвах, оценена миграция и сохранность углистых частиц (≥ 0.5 мм) в почвах песчаного, супесчаного, суглинистого и глинистого (в том числе с тиксотропными свойствами) гранулометрического состава под покровом мхов, торфа и лишайников на молодых гарях и горельниках. Глубина вертикальной миграции углистых частиц зависела от гранулометрического состава почвы, влажности ее верхней минеральной части (ВМЧ), наличия ММП, а также времени, прошедшего с момента пожара (вне морфонов вывалов обычно ограничиваясь 15-30 см).

В зависимости от соотношения постоянных и временных барьеров распределение (миграция) углистых частиц по профилю описывается четырьмя моделями (рисунок 12, продольный срез): (1) барьерной для почв с тяжелой и/или влажной ВМЧ, (2) равномерно-диффузной для почв с легкой и сухой ВМЧ, (3) неравномерно-диффузной для почв с утяжелением гранулометрического состава с глубиной и (4) турбационной для мерзлотных почв.

Автором определено, что горизонты с гранулометрическим составом тяжелее тонкого песка, цементированные железом и насыщенные водой надежно блокируют вертикальную миграцию большинства углистых частиц, если она не обусловлена вывалами и криотурбациями. Насыщенные водой почвы, таким образом, могут формировать барьерный тип миграции, вне зависимости от гранулометрического состава.

Главным фактором, определяющим сохранность углистых частиц – их анатомическую целостность – выступает влажность подстилки и почвы. Во влажных почвах углистые частицы более уязвимы к механическому измельчению. В соответствии со своим морфологическим состоянием угли были разделены на три стадии разрушения, а также группу углей, насыщенных влагой: (1) крупный уголь с ясно читаемой структурой (размер зависит от сгоревшей растительности); (2) угли до 2 мм, в форме прямоугольных пластинок; (3) угли до 1 мм, округлой формы, структура не читается; (4) угли насыщенные водой, мягкие на ощупь (перед определением стадии разрушения уголь необходимо высушить). Обоснованно выделение особого типа углистых частиц, адсорбированных на минеральной матрице.

Глава 8 (187-195 стр.) посвящена проблеме «Пирогенез, как один из факторов образования экстремальных почв северных территорий России». На наиболее поврежденных пожарами гарях складываются особые по своей суровости условия для почвообразования и восстановления почвенного покрова. Пирогенные почвы могут быть оценены с позиций концепции экстремального почвообразования (Горячкин и др., 2019, 2022). Почвы экстремальных условий, которые вызваны пирогенезом, Д.Г. Петров предлагает называть «пирогенно-экстремальными».

Концепция экстремальности почв предполагает, что в экстремальных условиях образуются ортоэкстремальные почвы, то есть «правильные», настоящие экстремальные, и параэкстремальные почвы, то есть «почти экстремальные». Последние (стр. 192), являются переходной формой от экстремальных к нормальным или оптимальным почвам, по Горячкину С.В. (2022). Каждое из условий пирогенной экстремальности имеет характерное время пребывания, после которого почва может развиваться с изменением направления почвообразования (стр. 193).

На основе полученных данных Д.Г. Петров в главе 9 (196-200 стр.) вносит предложения по классификации пирогенных почв в зависимости от степени их трансформации пожаром. Соискателем приводится обоснование необходимости изменения классификации пирогенных почв – деление их по степени пирогенной трансформации профиля. Слаботрансформированная почва сохраняет большую часть подстилки, $C_{орг}$ может увеличиться в ВМЧ; среднетрансформированная почва имеет многочисленные пирогенные морфоны, интенсивность повреждений мозаична, резко уменьшены $C_{орг}$ и $N_{общ}$ в подстилке, увеличено содержание $Fe_{диг}$ в ВМЧ; сильнотрансформированная почва испытывает условия почвенной пирогенной экстремальности, эродирована, трансформация химических свойств необратима.

В заключении Д.Г. Петров подводит итоги своих исследований, формулируя основные выводы, полученные при теоретической и практической проработке информативного и достоверного материала. Выводы вытекают из результатов исследований, согласуются с задачами исследований и защищаемыми положениями и не вызывают сомнений в их обоснованности и корректности.

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии в постановке целей и задач исследования, в полевых и лабораторных работах. Также соискатель провел обзор отечественных и

зарубежных литературных источников и подготовил текст диссертации. Выполнил большую часть химических анализов, осуществил статистическую обработку данных и моделирование процессов миграции антракомассы.

Научная новизна диссертации определяется тем, что в ней впервые для ледниково-карстовых ландшафтов севера Архангельской области проведена реконструкция хронологии палеопожаров по почвенной записи и выявлены периоды повышенной пирогенной активности. Установлены основные закономерности и характерные времена вертикальной миграции углистых частиц и изменения их формы и размера в зависимости от времени и условий залегания в профиле почв подзон северной и средней тайги, а также кустарниковой тундры. Впервые для лесных пожаров по данным рамановской спектроскопии реконструированы максимальные температуры карбонизации углистых частиц, которые коррелировали с неоднородностью параметров пирогенеза, как в пределах гари, вызванной одним пожаром, так и между гарями, вызванными пожарами разной силы. Предложено выделять слабо-, средне- и сильнотрансформированные почвы в зависимости от степени пирогенных изменений их морфологических и физико-химических свойств.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации, являясь в то же время вполне самостоятельным произведением. Основные положения диссертации опубликованы в девяти печатных работах (3 включены в список рекомендованных ВАК РФ, входят в базы Web of Science, Scopus, а также перечень журналов RSCI) и прошли широкую апробацию в всероссийских и международных совещаниях различного ранга.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что работа Д.Г. Петрова «ПИРОГЕННЫЕ ПОЧВЫ БОРЕАЛЬНЫХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ РОССИИ: ДИНАМИКА СВОЙСТВ И ИНФОРМАЦИОННАЯ РОЛЬ», является законченным научным исследованием, базирующимся на богатом фактическом материале, имеет, безусловно, научную новизну, значима для науки и практики. Отмеченные выше замечания и предложения, не умаляют очевидных достоинств диссертационной работы.

Поэтому считаю, диссертация соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации, а ее автор - ПЕТРОВ Дмитрий Григорьевич, достоин присуждения искомой ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.12 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов.

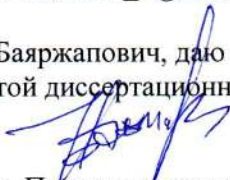
Официальный оппонент, доктор биологических наук,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского Отделения
Российской академии наук, заместитель директора по научной работе,
старший научный сотрудник, заведующий лабораторией географии и экологии почв.



Бадмаев Нимажап Баяржапович

670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6. * тел: (3012) 43-42-11; факс: (3012) 43-30-44.
e-mail: ioeb@biol.bscnet.ru, nima_b@mail.ru сайт: http:igeb.ru

Я, Бадмаев Нимажап Баяржапович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.



Дата 31 октября 2023 г. Подпись заверяю

Ученый секретарь ИОЭБ СО РАН, к.б.н.



Козырева Л.П.