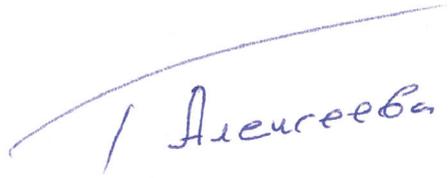


На правах рукописи



АЛЕКСЕЕВА Татьяна Викторовна

**ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ И ПОЧВЫ В ДЕВОНЕ
И КАРБОНЕ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ:
СТРОЕНИЕ, ТИПЫ, БИОТА, ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ
АРХИВЫ И СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ**

Специальность 25.00.02 — палеонтология и стратиграфия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва – 2020

Работа выполнена в Институте физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленном подразделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований Российской академии наук»

Научный консультант: Алексеев Александр Сергеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры палеонтологии геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Официальные оппоненты:

Силантьев Владимир Владимирович, доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой Палеонтологии и стратиграфии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета

Савко Аркадий Дмитриевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры исторической геологии и палеонтологии Воронежского государственного университета

Тельнова Ольга Павловна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории стратиграфии Института геологии имени академика Н.П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ Коми НЦ УРо РАН

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,

Защита состоится 27 мая 2020 г. в 14:30 на заседании диссертационного совета Д 002.212.01 на базе Палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН по адресу: 117647, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 123

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Отделения биологических наук РАН (г. Москва, Ленинский пр-т, д. 33) и на официальном сайте ПИН РАН: <https://www.paleo.ru/upload/medialibrary/538/53862131a8d08e4a496a652edd742925.pdf>

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 117647, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 123, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, ученому секретарю диссертационного совета Д 002.212.01; факс +7 (495) 339-12-66

Автореферат разослан « » февраля 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к. г.-м. н.

В.А. Коновалова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Как важнейшие компоненты гео-биосферы палеопочвы являются первостепенными свидетельствами континентальных обстановок на Земле, начиная с раннего фанерозоя. Взрывное освоение суши растениями в девоне и появление корнеобитаемых почв являются одними из глобальных этапов в развитии биосферы [Retallack, 2001; Заварзин, Рожнов, 2010; Genise et al., 2016]. Актуальность изучения палеопочв уже на рубеже XX века подчеркивали видные российские ученые К.Д. Глинка и Б.Б. Полюнов. Значимость палеопочвенных объектов обусловлена и тем, что лишь ~10% геологического времени напрямую зафиксировано в осадочной летописи, в то время как основная ее часть скрыта из-за перерывов в осадконакоплении, субэразальных преобразований осадков, а также эрозии [Miall, 2016; Kabanov, 2017]. Континентальные этапы, сохраняющие наиболее достоверную информацию о палеоклимате и палеоэкологии поверхности нашей планеты, в разной степени «заархивированы» в палеопочвах. Как палеонтология (наука об ископаемых формах жизни), так и палеопочвоведение (наука о среде обитания древних организмов) изучают ископаемые объекты и находятся на стыке многих научных дисциплин: геологии, биологии, геохимии, почвоведения [Добровольский, Макеев, 2009]. Древние почвы, погребенные в континентальных осадках, – как среда захоронения растительных и животных остатков – имеют важное значение для изучения условий и закономерностей их захоронения и фоссилизации – тафономии [Ефремов, 1950]. При всей обозначенной важности, потенциал палеопочвоведения как свидетеля истории и эволюции дочетвертичной биосферы Земли на настоящий момент во многом остается нереализованным. Возможности использования палеопочв для целей стратиграфии (педостратиграфия) наряду с лито- и биостратиграфией, для целей реконструкции палеоклимата находятся на стадии разработки. Сведения о находках дочетвертичных палеопочв на территории Земли фрагментарны, нет карт почвенного покрова древних континентов. До недавнего времени [Alekseeva et al., 2016; Алексеев с соавт., 2018] в литературе отсутствовали прямые упоминания о находках палеопочв в разрезах девона Центрального девонского поля (ЦДП). Отложения карбона на территории Подмосковного осадочного бассейна представлены преимущественно осадками мелкого эпиконтинентального морского бассейна. Эта геологическая запись имеет множественные перерывы, отражающие регрессивно-трансгрессивные циклы [Махлина с соавт., 1994; Alekseev et al., 1996; Алексеев с соавт., 2012; Kabanov et al., 2013, 2016;

Кabanov, 2017]. Субаэральные поверхности в отложениях карбона описываются в литературе, начиная с первой половины XX в. [Залесский, 1914; Швецов, 1922, 1938; Геккер, 1940; Осипова, Бельская, 1965; Бельская с соавт., 1975]. Они упоминаются как «заболоченные низины», «поверхности осушений и размывов», «поверхности зарастания», «слои, обогащенные углефицированным детритом», «корневые горизонты» и т. д. Вместе с тем, субаэральные преобразованные поверхности морских карбонатных осадков каменноугольного возраста и перекрывающие их терригенные отложения Московской синеклизы до недавнего времени не рассматривались в качестве объектов (палео)почвоведения. Поэтому публикации сначала П.Б. Кабанова [2003, 2017] и далее – совместные работы нашего коллектива [Kabanov et al., 2010, 2013; Alekseeva et al., 2016; Алексеева с соавт., 2016, 2018] во многом являются пионерными. Накопленный за 10-летний период полевой и экспериментальный материал в большой степени опубликован, но требует обобщения.

Цель настоящей работы состояла в получении новых знаний о континентальных этапах в развитии центральных и южных районов Русской плиты в среднем и позднем девоне и карбоне – литостратиграфии, почвенном покрове, палеогеографии, направленности эволюции экосистем, климата и растительности, на основе комплексного изучения ископаемых почв с привлечением методологии и опыта изучения четвертичных (плейстоцен, голоцен) палеопочв и современных (фоновых) почв.

Для достижения обозначенной цели были поставлены следующие **основные задачи**:

1. Полевые исследования отложений девона и карбона на территории Воронежской антеклизы и Подмосковного осадочного бассейна;

2. Детальное с применением комплекса аналитических методов и подходов седиментологии, почвоведения и палеопочвоведения, минералогии и геохимии, палеонтологии и палеоэкологии исследование палеопочв среднего и верхнего девона (Шкурлатовский карьер гранитов, Воронежская обл.; Михайловский ГОК, Курская обл.; пос. Ливны, Орловская обл.; Стойленский ГОК, Белгородская обл.) и палеопочв карбона на территории южного крыла Подмосковного бассейна (Московская, Тульская, Калужская, Рязанская области) (рисунок 1);

3. Выявление классификационного положения, стратиграфического разнообразия и латеральной выдержанности палеопочв;

4. Выявление типов и изучение состава ископаемых корней – ризоитов (химический, минеральный, изотопный составы). Оценка возможности использования этих данных для решения палеоэкологических задач;

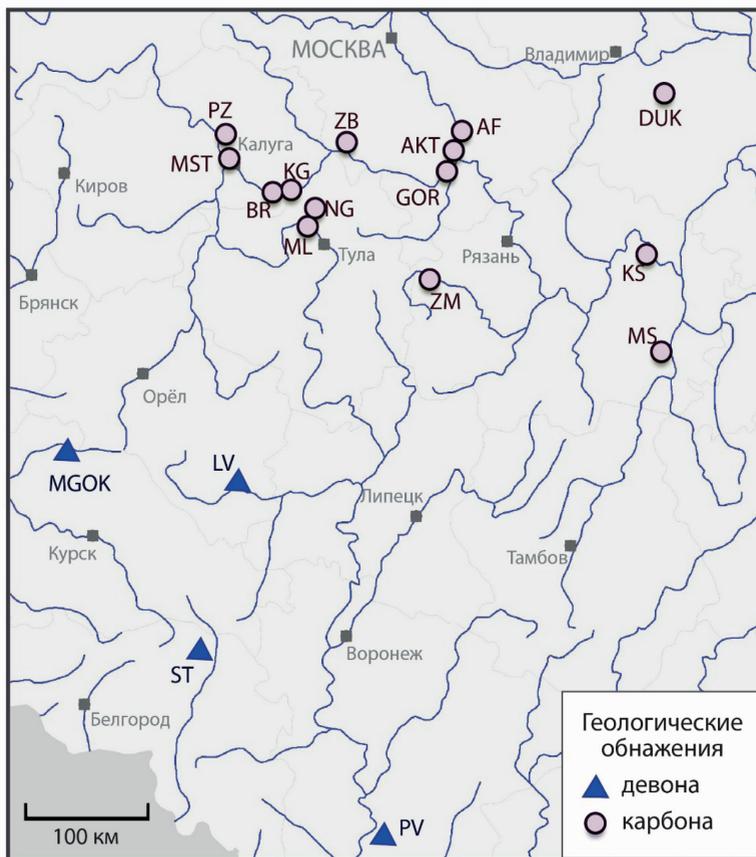


Рисунок 1. Район и объекты исследования. Карьеры с выходами девонских отложений: PV – Павловский; LV – Ливенка и Горностаевка; MGOK – Михайловский ГОК (Железногорск); ST – Стойленский ГОК (Старый Оскол). Карьеры с отложениями нижнего карбона: ML – Малиновка, NG – Новогуровский; ZB – Заборье; PZ – Полотняный завод; BR – Бронцы; ZM – Змеинка; MST – Мстихино; KG – Курагино. Карьеры с отложениями среднего/верхнего карбона: GOR – Горы; AF – Афанасьевое; DUK – Дюкино; MS – Малый Студенец; KS – Касимов; АКТ – Акатьево

5. Изучение форм захоронения органического вещества (ОВ) в почвах палеозоя с применением комплекса инструментальных методов (FTIR, ^{13}C ЯМР-спектроскопия);

6. Использование геохимических (молярные отношения, изотопная геохимия), минеральных и других характеристик ископаемых почв для получения количественных параметров палеоклимата и его динамики.

Положения, выносимые на защиту:

1. Выявлены и в деталях изучены палеопочвы в средне- и позднедевонских терригенных отложениях и каменноугольных циклически построенных мелководно-морских осадках центральных районов Русской плиты. Показано, что палеопочвы живетско-франского возраста Павловского карьера (восточный склон Воронежской антеклизы) формируют сложные педокомплексы, состоящие из нескольких (до 5) палеопочв. При преобладании почв плакоров выявлен катенарный парагенезис палеопочв. В раннекаменноугольных отложениях (визейский–серпухововский ярусы) установлены горизонты палеопочв в верхах и кровле алексинского горизонта, михайловском горизонте (3 уровня), кровле михайловского горизонта, веневском горизонте (2 уровня), кровле веневского горизонта, тарусском горизонте, кровле стешевского горизонта. В среднем/верхнем карбоне палеопочвы установлены в пределах каширского подъяруса и в его кровле, в пределах подольского и мячковского подъярусов (5 уровней) и в кровле мячковского подъяруса московского яруса, в гжельском ярусе.

2. В подошве «черного ризоидного» известняка (кровля михайловского горизонта визе) присутствует сложный педокомплекс из двух палеопочв. Эти палеопочвы и «ризоидный» известняк лакустринно-палюстринного генезиса могут представлять собой отдельные компоненты протяженной прибрежной болотистой низменности. По типу ландшафтов и масштабам распространения она аналогична современным ландшафтам маршевого типа (Флорида, США).

3. Палеопочвы карбона, маркирующие границы горизонтов, в основном латерально выдержаны и могут рассматриваться в качестве значимых стратиграфических единиц – геосолей. Уровни развития геосолей соответствуют границам основных циклотем. Уровни развития палеопочв внутри региональных горизонтов позволяют детализовать их стратиграфическую разбивку.

4. Наличие ризолитов (ископаемых корней) – первостепенный и часто единственный критерий для обнаружения палеопочв. Ризолиты в палеопочвах девона представлены петрифицированными сидеритом корнями, а в палеопочвах нижнего карбона – слепками и каналами. Тип формирующихся ризолитов определяется комплексом факторов: свойствами почвообразующей породы, растительностью, типом почвы, условиями ее захоронения.

5. Структурные особенности захороненного в палеопочвах ОВ определяются свойствами минеральной матрицы. Уникальная сохранность ОВ, включая О-алкилы, выявлена в палыгорскитовых палеопочвах среднего

и верхнего карбона, их фульватный тип гумуса идентичен гумусу современных полупустынных почв.

6. Количественная реконструкция палеоклиматов среднего/позднего девона и карбона показала, что в среднем/позднем девоне в центральных районах ВЕП преобладал теплый и влажный тропический климат, величина среднегодовых осадков составляла ~900–1200 мм, а в карбоне она колебалась в широких пределах от ~240 до ~1250 мм/год. Начиная с веневского времени происходило постепенное снижение величины атмосферных осадков до ~700–240 мм/год с минимумом в московском веке (подольское время). Снижение количества атмосферных осадков сопровождалось падением среднегодовой температуры на 2–4 °С. Аридизация климата в карбоне, обусловленная наступлением III эпизода позднепалеозойского оледенения, сопровождалась сменой растительного покрова.

Научная новизна. Находясь на стыке геологии и биологии, данная комплексная работа расширяет рамки традиционных геологических и классических почвенных исследований. Практически все полученные в данной работе научные результаты обладают новизной.

Находки палеопочв девона на территории Земли единичны. Впервые на территории ЦДП обнаружены и детально изучены палеопочвы среднего и позднего девона. Впервые обнаружены уникальной сохранности корневые системы среднедевонского растения – *Radicitis devonicus* Naugolnykh.

Субаэральные преобразованные морские и континентальные отложения карбона на территории Подмосковского осадочного бассейна за малым исключением не рассматривались в качестве объектов палеопочвоведения. Детальная характеристика палеопочв и их генетическая интерпретация позволили выявить особенности почвенного покрова в позднем палеозое, его стратиграфическую и латеральную пестроту.

Обобщены литературные сведения по находкам палеопочв девонского и каменноугольного возраста на территории современных Европы и Северной Америки, по которым впервые составлены палеопочвенные карты-схемы. Описаны новые для этого возраста типы зональных палеопочв. Для среднего и позднего девона – латосоли и текстурно-дифференцированные сподосоли, для среднего и позднего карбона – Са-Мг палыгорскитовые палеопочвы полупустынного типа (аридосоли).

Пионерными являются исследования захороненного в палеопочвах палеозоя органического вещества. Показано влияние типа минеральной матрицы на результаты диагенетических преобразований органического вещества.

Впервые на основе геохимических и минеральных характеристик палеопочв проведены количественные реконструкции палеоклимата в среднем и позднем девоне и карбоне для территории Северной Евразии.

Практическая значимость работы. Полученные автором результаты вносят вклад в изучение палеогеографии, палеопедосферы, палеоклимата, палеоботаники территории Русской платформы в девоне и карбоне, эволюции наземных экосистем и биосферы Земли в целом. Данные представляют несомненный интерес для специалистов в области стратиграфии и геологической корреляции. Они вносят вклад в осуществление комплексных исследований по корреляции континентальных этапов в стратиграфии карбона на региональном и глобальном уровнях. Результаты проведенных исследований используются в учебных дисциплинах «Палеопочвоведение», «Палеоботаника» и «Палеогеографические методы исследований» (факультет почвоведения, геологический и географический факультеты МГУ имени М.В. Ломоносова). Находки палеопочв и уникальной сохранности корневых систем впервые обнаруженных растений среднего девона – *Radicitis devonicus* Naugolnykh, размещены в экспозициях Палеонтологического музея им. А.А. Борисяка РАН (ПИН РАН, Москва), Краеведческого музея г. Павловск (Воронежская область).

Конкурсная поддержка работы. Автор являлся руководителем в конкурсных исследованиях по обозначенной проблеме, поддержанных грантами Российского фонда фундаментальных исследований: № 08–04–01552 (2008–2010) «Палеопочвы карбона центральных районов Европейской России как отражение эволюции наземных экосистем и палеоклимата»; № 12–04–00387 (2012–2014) «Палеопочвы девона Центрального девонского поля: строение, минералогия, геохимия – ключ к познанию эволюции биосферы в среднем палеозое». Как ответственный исполнитель участвует в Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы» (2004–2019).

Апробация работы. Материалы, вошедшие в диссертацию, были доложены автором лично на следующих конференциях: Европейских конференциях по изучению глин (Euroclay) (2007 г. – Португалия; 2011 г. – Турция; 2015 г. – Шотландия; 2019 г. – Франция), Международных конференциях по изучению глин (ICC) (2009 г. – Италия, 2017 г. – Испания); Среднеевропейских конференциях по изучению глин (MECC) (2010 г. – Венгрия; 2012 г. – Чехия, 2016 г. – Словакия); International Field Symposium “The Devonian and Lower Carboniferous of the northern Gondwana” (Марокко, 2013); рабочих совеща-

ниях в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Происхождение биосферы и эволюция гео-биологических систем (Москва 2009, 2012, 2018); годовых собраниях секции палеонтологии МОИП (Палеострат 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2019); 12th International Symposium and Field Workshop on Paleopedology (ISFWP) (Курск 2013); II Российском рабочем совещании «Глины и глинистые минералы» (Пушино 2012); 2-й Всероссийской конференции по астробиологии (Пушино 2016); V и VI Международных симпозиумах «Биокосные взаимодействия в природных и антропогенных системах» (Санкт-Петербург 2014, 2018); VII съезде Общества почвоведов В.В. Докучаева (Белгород, 2016); V Всероссийской конференции «Верхний палеозой России» (Казань, 2019). Работа апробирована на заседаниях научных семинаров ИФХиБПП РАН, Института географии РАН (Москва), Института геологии Польской академии наук (Краков). Цикл статей «Гуминовые вещества ископаемых почв палеозоя; влияние минеральной матрицы на фракционирование, сохранность и трансформацию органического вещества в почвах» удостоен премии издательства МАИК «Наука-Интерпериодика» (2011).

Публикации. По теме диссертации опубликована 61 работа, в том числе 21 статья в изданиях из списка, рекомендованного ВАК, 4 – коллективные монографии, 36 – другие публикации.

Личный вклад автора в работу. Диссертационная работа является результатом многолетних полевых и лабораторных исследований автора (2004–2019). Она представляет собой самостоятельное исследование: автором лично сформулированы цели работы, поставлены задачи, сформулированы выводы. Автор лично участвовал во всех экспедициях по сбору полевого материала. Большая часть экспериментального материала получена лично автором или при его участии в коллективных исследованиях лаборатории геохимии и минералогии почв ИФХиБПП РАН (Пушино).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, восьми глав, выводов, заключения, списка литературы, четырех приложений. Диссертация изложена на 355 страницах, иллюстрирована 69 рисунками и 25 фототаблицами, содержит 8 текстовых таблиц. Список литературы включает 424 наименования, из них 224 – на иностранных языках.

Благодарности. Исследования были инициированы академиком Георгием Александровичем Заварзиным. Они проводились, в частности, в рамках Программы президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы», руководителем которой в настоящее время является академик Алексей

Юрьевич Розанов. Автор крайне признателен им обоим за всестороннюю поддержку этих работ. Изучение субаэральных несогласий в отложениях раннего, среднего и позднего карбона на изученной в данной работе территории были начаты к. г.-м. н. П.Б. Кабановым (ПИН РАН). Автор благодарен ему за предоставленную возможность подключиться к этим исследованиям, за совместные экспедиционные исследования палеопочв карбона и девона, некоторые полевые материалы, в частности по средне- и позднекаменноугольным отложениям. Результатом этого сотрудничества являются совместные публикации. Автор благодарен сотрудникам Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (Пушино) за совместные экспедиционные исследования и поддержку на всех этапах этой работы – зав. лабораторией д. б. н. А.О. Алексееву, д. б. н. С.В. Губину, к. б. н. А.Ю. Овчинникову, к. г.-м. н. П.И. Калинину; Г.В. Митенко; д. с.-х. н. Б.Н. Золотаревой и всем сотрудникам лаборатории геохимии и минералогии почв и ЦКП этого института. Признательна д. г.-м. н. А.В. Гоманькову (БИН РАН), д. г.-м. н. С.В. Наугольных (ГИН РАН), к. г.-м. н. С.М. Снигиревскому (Санкт-Петербургский университет) за консультации по флорам девона. Благодарна всем соавторам публикаций. Признательна своей семье, А.О. Алексееву – единомышленнику и соавтору большинства публикаций за всестороннюю помощь и поддержку на всех этапах работы. Особая признательность д. г.-м. н., проф. МГУ А.С. Алексееву – научному консультанту за помощь на этапе подготовки рукописи к защите. Значительная часть полевых работ осуществлена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН и РФФИ. Автор благодарен руководству и геологической службе ОАО «Павловск Неруд» за многолетнее сотрудничество и помощь в проведении экспедиционных работ.

Глава 1. ПАЛЕОПОЧВЫ ПАЛЕОЗОЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Глава включает следующие разделы: Историческая справка и современное состояние исследований; Палеогеографическая и палеоклиматическая обстановки на территории Северной Евразии во второй половине палеозоя; Преобразования палеопочв после их погребения (почвенный диагенез) (рисунок 2); О классификациях палеопочв; Палеопочвы девона и карбона на территории Земли: география и генетическое разнообразие.

На основании имеющейся литературы выявлена специфика почвенного покрова Северной Евразии в девоне и карбоне. Впервые составлены карты-схемы находок палеопочв девона, нижнего, среднего и верхнего карбона



Рисунок 2. Схема возможных преобразований в палеопочвах (почвенный диагенез)

для территорий Лавруссии и Пангеи (рисунок 3). Анализ описанных типов почв девона–карбона показал преобладание в девоне азональных и интразональных почв, усложнение почвенного покрова в карбоне за счет роста числа типов зональных палеопочв.

Глава 2. МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Методы исследования

В данной работе изучались палеопочвы, обнаженные в стенках карьеров. Такие объекты имеют ряд безусловных преимуществ. Среди них – наличие свежих обнаженных поверхностей и протяженность обнажения, позволяющие оценить выдержанность либо пестроту отдельных частей профиля палеопочвы и почвенного покрова в целом.

Лабораторные исследования включали получение базовых характеристик палеопочв, подстилающих и перекрывающих отложений (гранулометрический состав, содержание $C_{орг}$, содержание карбонатов). Минеральный состав валовых образцов, крупной и илистой (<2 мкм) фракций изучен методами рентгеновской дифрактометрии и ИК-спектроскопии, элементный состав образцов – рентген-флюоресцентным методом, магнитная воспри-

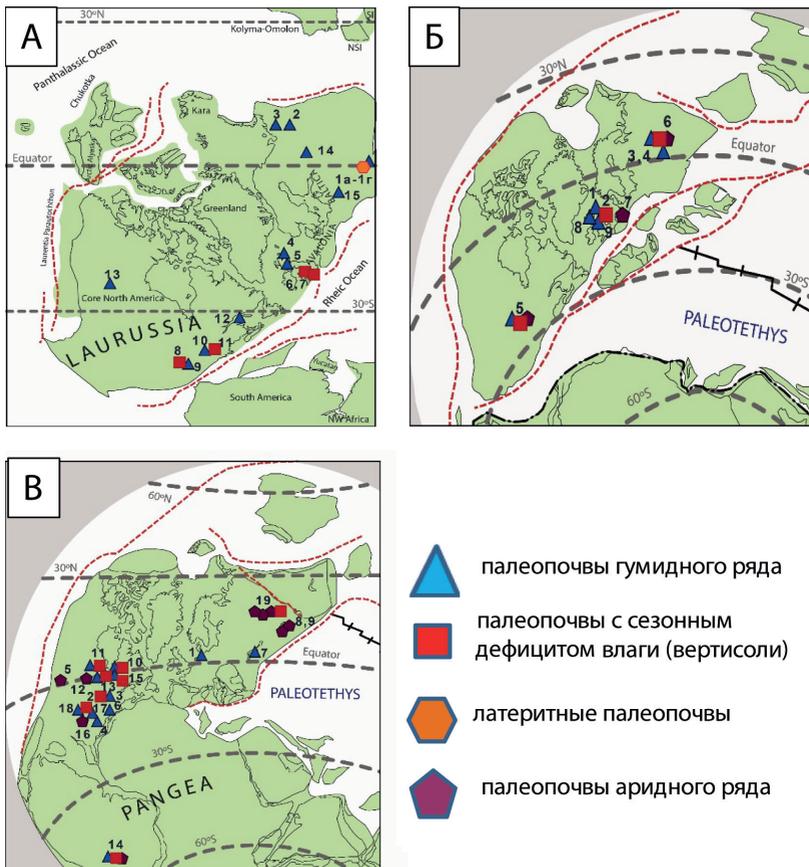


Рисунок 3. Палеопедологические карты-схемы (основа Cocks, Torsvik, 2011): А – находки палеопочв девона на территории Лавруссии; Б – находки палеопочв нижнего карбона на территории Лавруссии; В – находки палеопочв среднего/верхнего карбона на территории Пангеи

имчивость – на приборе KLY-2 Каррабридж. В деталях изучены почвенные макро- и микрообразования: морфология, строение, элементный и минеральный составы (СЭМ с микрозондом, рентгеновская дифрактометрия, рентген-флуоресцентный метод). Изотопный состав углерода карбонатов и углерода органического вещества изучен методом масс-спектрометрии. Захороненное почвенное органическое вещество изучено с использованием химических методов и комплекса аналитических методов – ^{13}C ЯМР- и ИК-спектроскопии. Выборочное определение абсолютного возраста вулканогенно-осадочных пород девона проведено методом U-Pb датирования цирконов с помощью SHRIMP-II технологии (ВСЕГЕИ).

2.2. Методы реконструкции палеоклимата

В этом разделе рассмотрены следующие вопросы: Геологические показатели климатов прошлого; Палеопочвы как индикаторы палеоклимата; Методы количественных реконструкций палеоклимата: возможности палеомагнитного, изотопных и геохимического методов. Показано использование геохимических индексов для описания почвенных процессов, оценки степени преобразованности материала под воздействием выветривания и палеоклимата, количественных реконструкций палеоклиматических параметров [Nesbitt, Young, 1982; Махлина с соавт., 1993; Retallack, 2001, 2003; Sheldon et al., 2002; Sheldon, Tabor, 2009; Калинин с соавт., 2009; Калинин, Алексеев, 2011; Gallagher, Sheldon, 2013; Алексеев с соавт., 2019а, б].

2.3. Девон Воронежской антеклизы

Отложения девона на данной территории изучаются начиная с 1840 г. На начало 90-х гг. XX века девон склонов Воронежской антеклизы (ВА) был хорошо изучен как в обнажениях, так и в скважинах [Родионова с соавт., 1995; Тихомиров, 1995; Савко, 1988]. Один из разносторонне изученных разрезов девона на данной территории расположен в Павловском карьере гранитов. ВА имеет двухъярусное строение: докембрийский фундамент и осадочный чехол, которые разделены резким угловым несогласием. Мощность осадочного чехла колеблется от первых метров до 1,5 км. Мощность девонских отложений находится в пределах 2,5–25 м и определяется куполовидными выступами гранита. В нижней части отложения девона представлены прибрежно-морским по происхождению старооскольским горизонтом [Беляева, Семусина, 1961; Быков с соавт., 1975]. Выше несогласно горизонтально залегают неморские ардатовские и далее – ястребовские отложения. Характерный облик пород ястребовской свиты определили продукты эксплозивной вулканической деятельности. Здесь выделяют 6 стадий вулканизма, к востоку и юго-востоку от Шкурлатовского месторождения существовало более 10 вулканических аппаратов [Быков, Канцеров, 1974, 1996; Бурдастых, 2003].

Кровля девона размыта и перекрывается отложениями позднего мела, плейстоцена и голоцена общей мощностью около 35 м [Беляева, Семусина, 1961; Быков с соавт., 1975; Щеголев, Савко, 1988; Звонарев с соавт., 2006; Савко, 2002; Раскатова, 1990, 2004; Милаш, 2018].

U-Pb датирование цирконов (SHRIMP-II), выделенных из вулканических пород ястребовского горизонта, свидетельствует, что в формирование вулканогенно-осадочных отложений ястребовского горизонта были вовлечены породы из разных источников, в том числе коренных (архей и протерозой).

Отложения девона на данной территории содержат скопления углефицированного растительного детрита, остатки наземных растений и водорослевой ассоциации, комплексы миоспор. Признано, что флора девонских отложений Воронежской антеклизы во многом уникальна [Ищенко, Ищенко, 1981; Krassilov et al., 1987; Раскатова, 1990, 2004; Broushkin, Gordenko, 2009 и др.].

Несмотря на обширную информацию по флоре, палеопочвы в разрезах девона ЦДП ранее напрямую не указывались.

2.4. Изученные палеопочвы девона

Палеопочвы девона в воробьевско-ардатовской и ястребовской свитах (живетский ярус среднего девона и франский ярус верхнего девона) были обнаружены нами на юго-западной и южной стенках Павловского карьера в 2010 г. Дополнительно палеопочвы живетского яруса среднего девона обнаружены в карьере Михайловского ГОКа (г. Железнодорожск, Курская область), палеопочва в подошве задонского горизонта, на границе франского и фаменского ярусов – в карьере Горностаевка (г. Ливны, Орловская обл.) и палеопочва живетского яруса в карьере Стойленского ГОКа (г. Старый Оскол, Белгородская обл.) (рисунок 1).

Палеопочвы в воробьевско-ардатовской и ястребовской свитах Павловского карьера изучены детально по полевым сборам 2010–2018 гг. Палеопочвы формируют сложные педокомплексы, состоящие из нескольких (≥ 4) почвенных профилей. Профили характеризуются разной мощностью и разной степенью сохранности. Педокомплексы занимают водораздел, склон и пойму правого крыла палеорусл (рисунок 4). Педокомплексы водораздельного (плакорного) типа широко распространены на юго-западной и фрагментарно – на южной стенках карьера.

2.5. Изученные палеопочвы карбона

В раннем карбоне изученная территория находилась на северо-восточной окраине Евразийского континента, в приэкваториальной зоне. Она представляла собой полуизолированную низменную равнину, временами заливаемую морем. На этапах трансгрессий территорию покрывало теплое мелкое эпиконтинентальное (шельфовое) море. По данным А.С. Алексева с соавт. [Alekseev et al., 1996] глубина этого морского бассейна не превышала 100 м, а колебания уровня находились в пределах 20–30 м.

В раннекаменноугольных отложениях на юге Русской платформы установлены горизонты палеопочв, приуроченные к следующим стратиграфическим уровням визейско-серпуховского интервала: верхи и кровля алек-

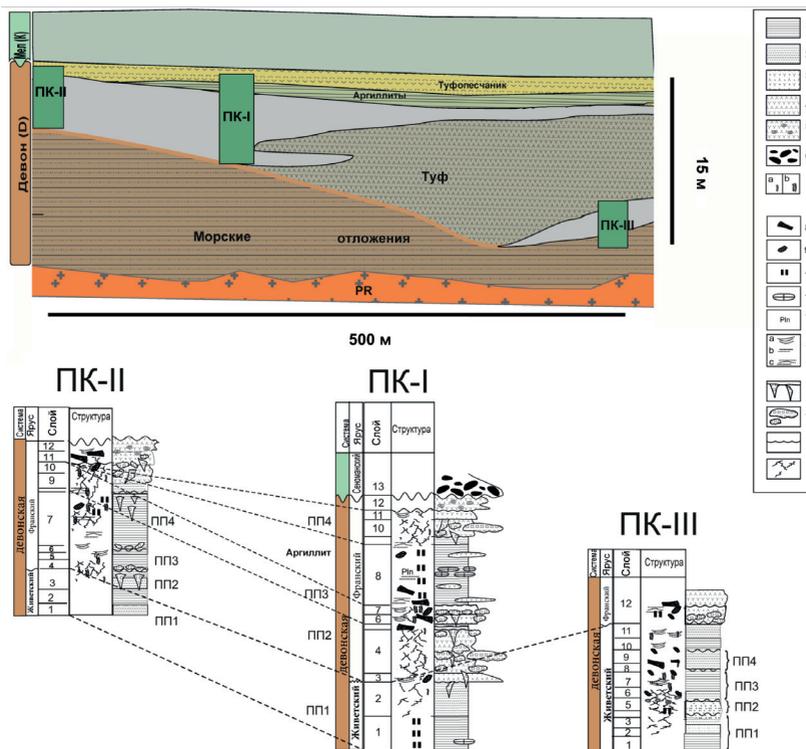


Рисунок 4. Павловский карьер. Схематическое изображение юго-западной стенки карьера, где были обнаружены палеопочвы: геология, литология и геоморфологическое расположение педокомплексов (ПК-I, ПК-II, ПК-III). Условные обозначения: 1 – серый аргиллит, богатый углефицированным детритом; 2 – пятнистый красно-серый аргиллит; 3 – туфопесчаники и тонко-зернистые конгломераты; 4 – зеленоватые туфиты; 5 – выветрелые охристые бокситоносные туфиты; 6 – фосфоритовые конкреции; 7 – сидерит-лимонитовые ризолиты: (а) тонкие, 1–3 мм; (b) до 3 см в диаметре, с толстыми концентрическими чехлами; 8 – крупные (>2 см) углефицированные растительные фрагменты; 9 – фрагменты угля; 10 – обильный углистый детрит; 11 – сидеритовые конкреции; 12 – следы Planolites; 13 – слоистость: (а) диагональная; (b) горизонтальная; (с) комбинированная; 14 – сидерит-лимонитовые клинья; 15 – выветрелые вулканические лапилли и бомбы; 16 – седиментационные несогласия; 17 – брекчии, зеркала скольжения

синского горизонта, михайловский горизонт (3 уровня), кровля михайловского горизонта, веневский горизонт (2 уровня), кровля веневского горизонта, тарусский горизонт, кровля стешевского горизонта. В целом палеопочвы 22 субэаральных несогласий в отложениях раннего карбона изучены в период с 2004 по 2016 гг. в известняковых карьерах Новогуровский, Заборье,

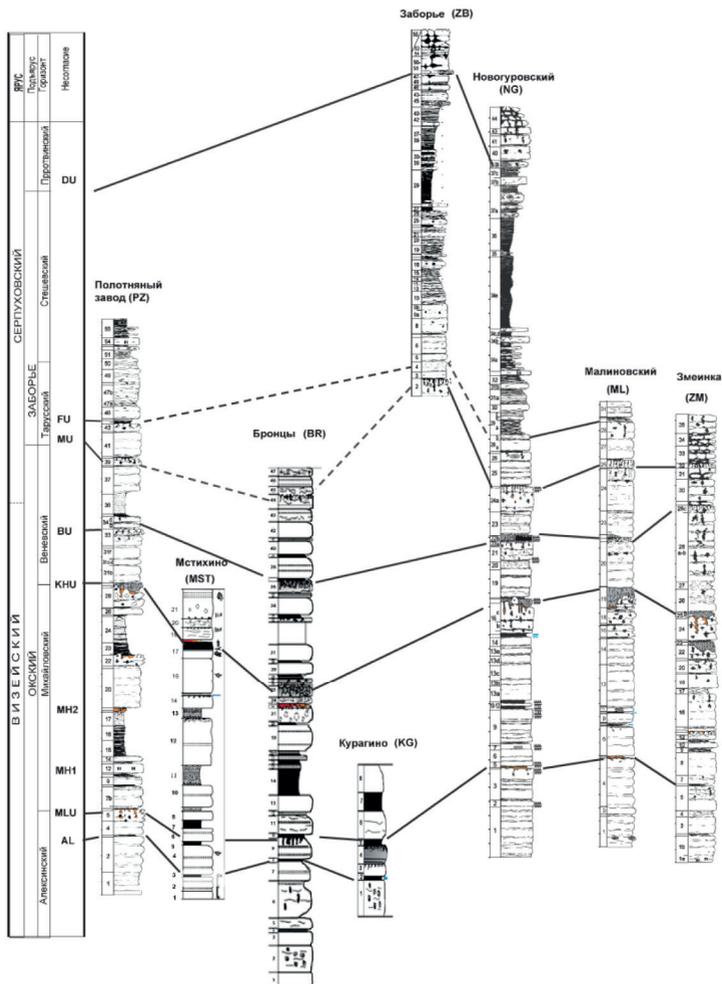


Рисунок 5. Карьеры нижнего карбона Подмосковского осадочного бассейна с обозначением изученных несогласий. Индексы несогласий по Кабанову с соавт. [Kabanov et al., 2014]

Малиновка (Московская обл.), Полотняный завод, Бронцы, Мстихино, Курагино (Калужская обл.), Змеинка (Рязанская обл.) (рисунки 1 и 5).

В средне- и позднекаменноугольных отложениях горизонты палеопочв установлены в лопасненской свите каширского горизонта московского яруса в карьере Малый Студенец (Рязанская обл.), в пределах подольского горизонта московского яруса в карьерах Горы и Акатьево (Коломенский

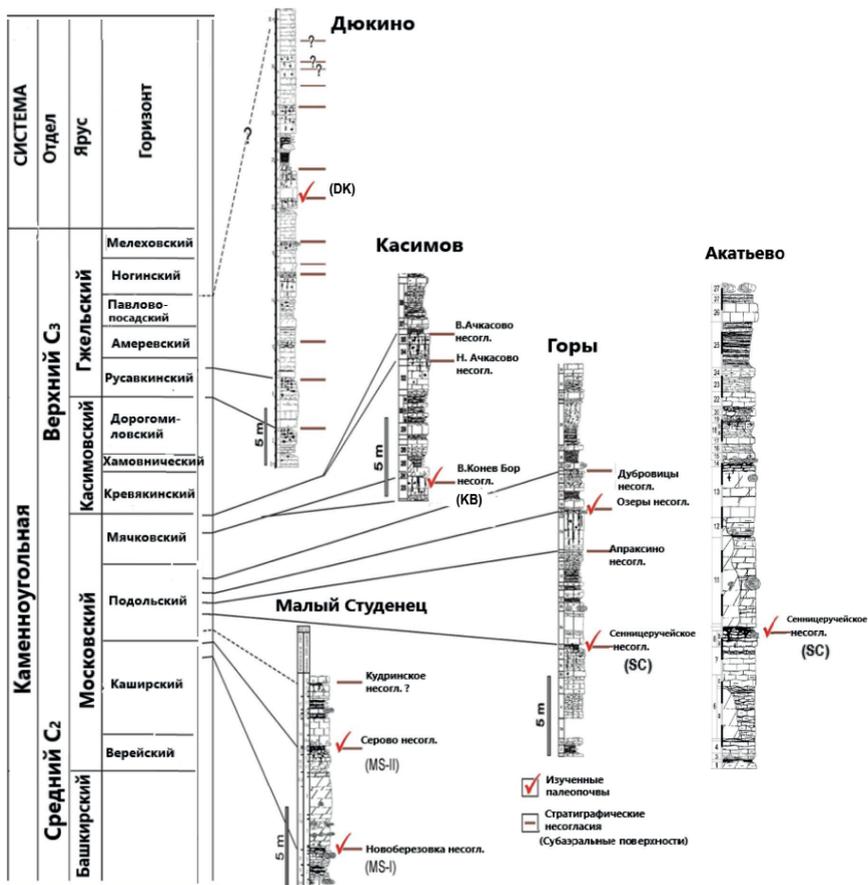


Рисунок 6. Карьеры среднего и верхнего карбона Подмосковного осадочного бассейна с обозначением изученных несогласий. Индексы несогласий по Кабанову с соавт. [Kabanov et al., 2014]

район Московской обл.), в мячковском горизонте московского яруса (карьер Касимов, Рязанская обл.), в гжельском ярусе (карьер Дюкино, Владимирская обл.) (рисунки 1 и 6). Они являются частью московских-раннекасимовских мелководных глинисто-карбонатных отложений Московской и севера Рязанской областей.

Ранее морфологические и микроморфологические исследования части этих объектов проведены П.Б. Кабановым [Кабанов, 2000, 2005; Kabanov, 2003; Kabanov, Varanova, 2007; Kabanov, Alekseev, 2011; Kabanov et al., 2013, 2014].

Глава 3. МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЛЕОПОЧВ

3.1. Палеопочвы девона в Павловском карьере гранитов

Обнаруженные в отложениях девона в карьере Павловского ГОКа палеопочвы занимают водораздел, склон и пойму палеоруслу. Наиболее комплексным и наиболее сохранившимся является педокомплекс I, сформированный на склоне (рисунки 4 и 7). Он имеет общую мощность ~6 м и состоит как минимум из 4 палеопочв. Три нижние представлены супераквальными пале-

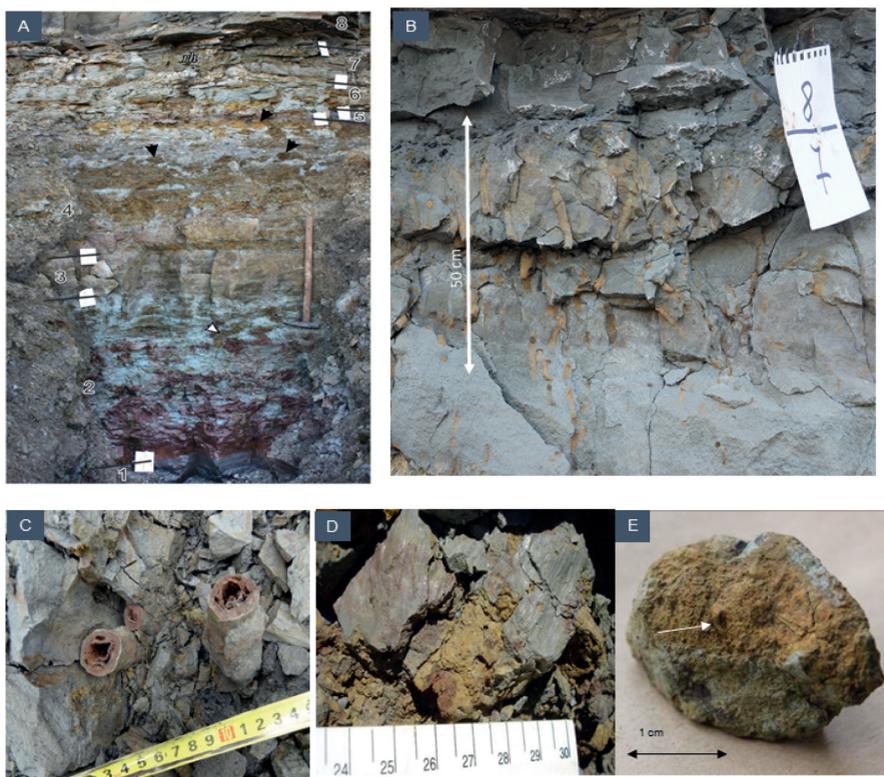


Рисунок 7. Павловский карьер. Педокомплекс I – склоновый: (А) общий вид педокомплекса, см. красный гематитовый горизонт в подошве педокомплекса, здесь номера (1–8) – описанные слои; (В) палеопочва 3 (слои 6–7 на рисунке 8А) с корневыми системами и углефицированной подстилкой; (С) корневые системы палеопочвы 3 (деталь); (D) ориентированные глинистые кутаны на поверхности Fe-конкреции; (E) Fe-конкреция с минерализованными корнями (обозначено стрелкой)

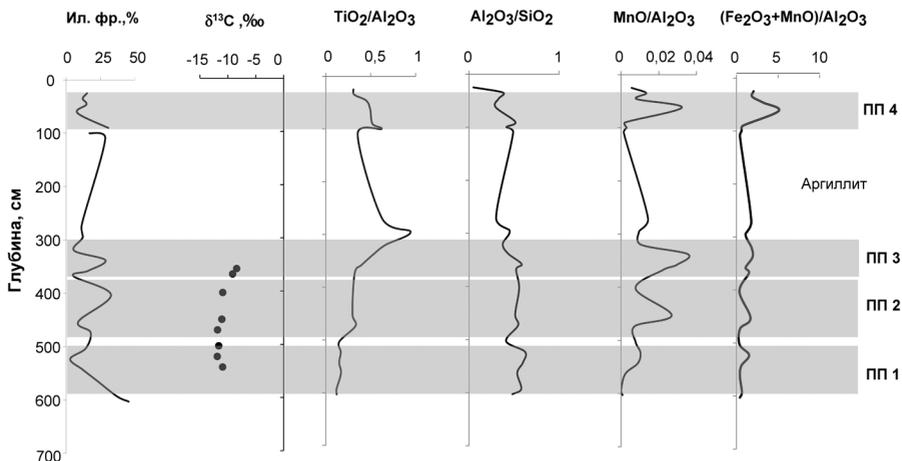


Рисунок 8. Павловский карьер. Педокомплекс I. Некоторые аналитические характеристики палеопочв

опочвами, верхняя – субэзральной. Нижняя палеопочва (ПП1) сформирована на ардатовских аргиллитах, три вышележащие – на вулканогенно-осадочных породах (туффитах и туфопесчаниках) ястребовской свиты. Палеопочвы имеют разную сохранность профилей. Профиль ПП3 мощностью 60 см является наиболее полным, включает горизонт органической подстилки. Палеопочвы этого комплекса имеют следующие сходные визуальные признаки: наличие горизонтного строения, органических остатков, инситных корней, кутаны на поверхностях отдельностей, почвенные карбонатные конкреции и ряд др. Профили дифференцированы по гранулометрическому составу, содержанию карбонатов и органического вещества (ОВ) (рисунок 8). Карбонаты представлены сидеритом (FeCO_3). Органическое вещество визуально представлено крупными растительными фрагментами (древесина стволов, корни), углефицированным детритом, спорами хорошей сохранности. Характерной чертой профилей ПП является наличие желваковых образований. Их размер колеблется от первых сантиметров до 10 см и более. Основной минерал желваков – сидерит, дополнительно они содержат гетит и кварц. Изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ сидерита облегчен и изменяется в пределах от $-7,8$ до $-11,9\%$, что говорит в пользу его неморского происхождения. Важнейшим типоморфным элементом в этих палеопочвах выступает железо, валовое содержание которого в отдельных горизонтах достигает 30% Fe_2O_3 . В подошвах всех палеопочв данного

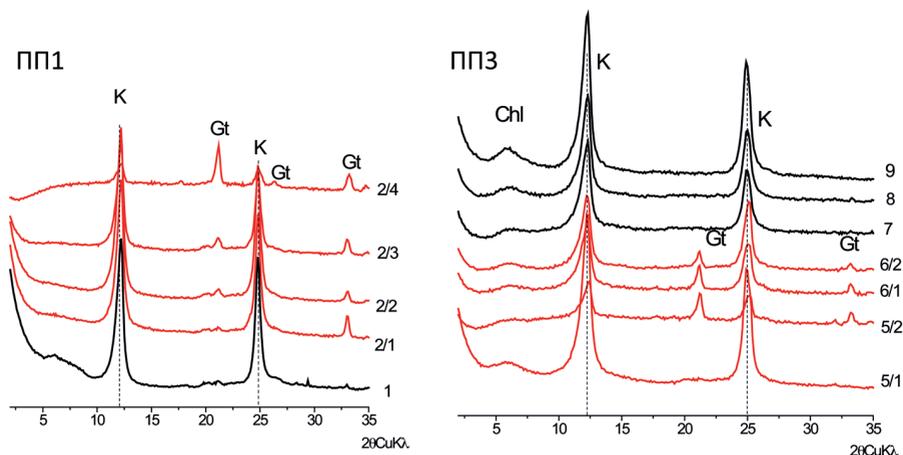


Рисунок 9. Павловский карьер. Педокомплекс I. Минеральный состав илистой фракции (< 2 мкм) палеопочв ПП1 и ПП3 с указанием номеров слоев изученного педокомплекса (данные рентгеновской дифрактометрии, образцы насыщены Mg^{2+} , воздушно-сухие). Обозначения: красная линия – горизонты палеопочв, черная линия – подстилающие/перекрывающие отложения. К – каолинит, Gt – гетит, Chl – хлорит

педокомплекса формируется красный горизонт, обогащенный гематитом. Он развивается на разной глубине от кровли профиля. Полагаем, что он отражает разную степень дренированности почвенных профилей. Совместное присутствие в профилях палеопочв Fe-содержащих минералов с разной степенью окисленности Fe (ильменита ($FeTiO_3$), гематита (Fe_2O_3), гетита ($FeOOH$), сидерита ($FeCO_3$), пирита (FeS_2)) говорит о разнообразных и сложных палеоэкологических обстановках, в которых шло формирование этих почв.

По минеральному составу илистой фракции все без исключения ископаемые почвы данного педокомплекса схожи: выделяются горизонты с практически мономинеральным каолинитовым составом и с двухкомпонентным – каолинит-гетитовым (рисунок 9). В профилях палеопочв отмечается существенное увеличение величины отношения MnO/Al_2O_3 и Fe_2O_3+MnO/Al_2O_3 , которые рассматриваются как индикатор интенсивности почвообразования и индикатор степени окисленности материала, соответственно (рисунок 8).

Водораздельный педокомплекс II имеет общую мощность около 3 м, состоит из 4 автоморфных палеопочв. Педокомплекс несогласно залегает на мелководно-морских отложениях ардатовского возраста и перекрывается верхним мелом. ПП1 сформирована на сланце, три другие палеопочвы – на вулканогенно-осадочных породах. Все палеопочвы карбонатные.

Карбонаты присутствуют в составе петрифицированных сидеритом/гетитом ризолитов. Материал палеопочв обогащен TiO_2 и Fe_2O_3 и, напротив, обеднен элементами-биофилами, типичными для современных почв – CaO (<3%) и K_2O (<0,1%). Минеральный состав палеопочв этого педокомплекса аналогичен составу палеопочв склонового педокомплекса.

Третий педокомплекс занимает пойму палеоруслу. Педокомплекс включает 4 гидроморфные богатые органическим веществом палеопочвы – гистосоли общей мощностью ~180 см. Педокомплекс подстилается мелко-водно-морскими осадками, сверху перекрыт мощным слоистым туфом, который в несколько этапов заполнил древнее русло. Палеопочвы сформированы на слоистых (аллювиальных?) отложениях. Верхние 10 см каждой палеопочвы содержат многочисленные крупные (до 15 см) уплощенные неправильной формы образования, состоящие из углефицированного органического вещества и пирита, содержат включения фитолеймов *Orestovia/Shuguria*. Илистая фракция всех палеопочв содержит 2 фазы: каолинит и смектит, приблизительно в равных долях. Серо-голубые цвета почвенного материала, выделения пирита и отсутствие гетита, обилие углефицированного органического детрита, элювиальный тип распределения величины магнитной восприимчивости свидетельствуют, что палеопочвы формировались в восстановительных обстановках.

Таким образом, в среднем и позднем девоне территория Воронежской антеклизы характеризовалась расчлененным рельефом с неоднородным почвенным покровом. Водоразделы занимали почвы автоморфного ряда. Свойства почв, которые формируют педокомплекс водораздельного типа, свидетельствуют об имевшей место смене растительности от древесной археоптерисовой к кустарниково-травянистой. Этот тип педокомплексов доминировал. На склонах получили развитие педокомплексы полугидроморфных почв под кустарниковой растительностью. В понижениях рельефа формировались сезонно-переувлажненные гидроморфные палеопочвы. В этих условиях доминировала водорослевая флора. Эти находки меняют сложившееся мнение о типе почвенного покрова Земли в среднем и позднем девоне. Так, например, известный и детально изученный тропический ископаемый лес из местонахождения Гильбоа (шт. Нью-Йорк, США) живец-франского возраста [Stein et al., 2007, 2012] произрастал на болотистом морском побережье. Изученные на территории современной Великобритании и Шотландии палеопочвы нижнего и верхнего девона также сформированы на морском побережье и аллювиальных осадках конусов выноса [Quast et al.,

2006]. Почвенный покров был представлен преимущественно слаборазвитыми протопочвами и карбонатными почвами, редко – вертисолями (рисунок 3). Напротив, палеопочвы, изученные на территории Павловского карьера, были преимущественно автоморфными, глубоковыветрелыми, окисленными, железненными, глубоко проработанными корневыми системами растений. Характерной чертой было формирование педокомплексов.

3.2. Палеопочвы нижнего карбона на территории южного крыла

Подмосковного осадочного бассейна

В тексте диссертации в деталях описаны строение и свойства палеопочв визейско-серпуховского интервала в обозначенных на рисунке 5 карьерах. Палеопочвы обнаружены в кровлях большинства горизонтов. Дополнительно в карьере Полотняный завод изучены две палеопочвы в пределах михайловского горизонта (МН1, МН2), в карьере Змеинка – палеопочва михайловского горизонта, в карьере Бронцы – две палеопочвы в пределах веневского горизонта (уровень ВU) (таблица 1). Комплекс признаков, на основании которых отложения, слагающие несогласия, отнесены к палеопочвам, включает: наличие следов корневых систем, органогенного горизонта и гумусовых веществ почвенного типа, растительных остатков, следов деятельности микрофауны, спор, микроагрегатов органо-минеральной природы, формирование аутигенного смектита и каолинита, микритового кальцита, лепидокрокита и других Fe-новообразований, облегченный состав углерода карбонатов.

Следующие типы почв получили распространение. Палеопочвы алексинско-михайловского интервала (уровни AL, MLU и МН1) представлены маршевыми почвами, сформированными под галофитной лепидодендроновой растительностью мангрового типа. Единственная палеопочва, сформированная на дельтовых отложениях легкого гранулометрического состава (МН2 (PZ)), имеет признаки подзолообразования (тип сподосоль). Подстилающие эти палеопочвы морские известняки имеют слабые признаки преобразования в субэаральных обстановках (таблица 1).

Палеопочвы уровней КНУ, ВU, МУ, FУ, DУ формируют педокомплексы, состоящие из двух и более наложенных палеопочв принципиально разного генезиса. Нижние палеопочвы педокомплексов сформированы на морском известняке на этапе морской регрессии. Известняк несет следы преобразования в субэаральных обстановках. Его кровля и нижележащие слои могут быть закарстованы, либо преобразованы по типу каличе (например, DУ). Последнее отвечает условиям дефицита влаги. Эта часть педо-

Таблица 1. Изученные палеопочвы нижнего карбона (см. рисунок 5).

Несогласие (индекс)	Полотняный Завод PZ	Бронцы BR	Новогуровский NG	Малиновка ML	Заборье ZB	Змеинка ZM	Курагино KG	Мстихино MST
DU			+ *		аридисоль			
FU	гистосоль кальцисоль		гипсисоль	+				
MU	протосоль рендзина		протосоль рендзина	протосоль кальцисоль	+			
BU	+	протосоль кальцисоль	+	+				
KHU	АПК кальцисоль вертисоль	АПК вертисоль	АПК вертисоль	АПК вертисоль		АПК вертисоль	АПК	+
MH2	сподосоль							
MH1-2						аридисоль		
MH1	протосоль маршевая							
MLU	протосоль кальцисоль	гипсисоль/гистосоль	гистосоль	гистосоль			+	гистосоль кальцисоль
AL		гипсисоль/гистосоль					+	+

«+» — описаны в полевых условиях. Остальные изучены в деталях с получением комплекса аналитических характеристик

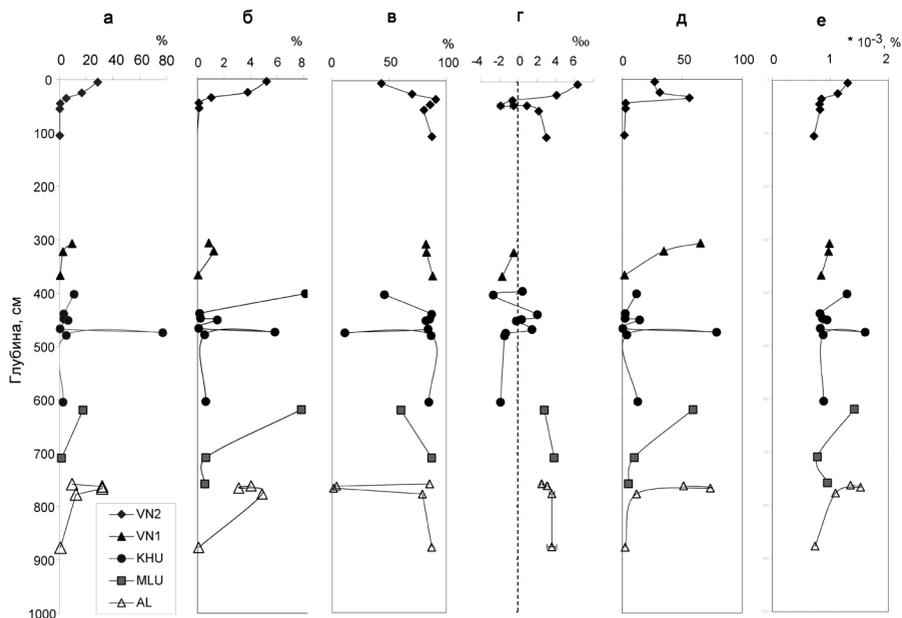


Рисунок 10. Карьер Бронцы. Некоторые аналитические характеристики изученных несогласий. Обозначения: А – распределение фракции < 2 мкм в профилях, %; Б – распределение Fe₂O₃, % (данные XRF); В – распределение карбонатов, %; Г – изотопный состав углерода карбонатов (δ¹³C, ‰); Д – распределение геохимического индекса CIA-K; Е – распределение содержания Ga 10⁻³, %

комплексов представляет собой рендзины, в разной степени эродированные на стадии очередной трансгрессии. Рендзины формировались при участии растительности с принципиально отличным от лепидодендроновых типом корневых систем. Верхние части педокомплексов сложены терригенными осадками прибрежно-морских озер – плайя. Эти преимущественно суглинистые отложения имеют педогенные признаки, позволяющие рассматривать их в качестве самостоятельных палеопочв: ардисоль палыгорскитовая (уровень МН1–2, карьер Змеинка), вертисоль (уровень КНУ), гистосоль (уровень FU) и флювисоль (протосоль (уровень ВU)). Гистосоль FU(NG) загипсована. Самая верхняя палеопочва (DU) представлена почвой аридного типа – карбонатным дюрикрастом. Полученная информация позволила выявить закономерности в смене почвенного покрова во времени, его латеральную пестроту и катенарную структуру, наличие тренда в развитии территории суши на обозна-

ченном временном интервале раннего карбона, направленного на увеличение ее площади, выявить циклический характер климата. Наряду с латеральной пестротой почвенного покрова, конец михайловского времени (уровень КНУ) характеризовался распространением на обширной территории комплекса экосистем континентального типа.

Продемонстрируем вышесказанное на примере хроносреза из пяти почвенных комплексов в карьере Бронцы (рисунок 5). Палеопочвы алексинско-михайловского интервала (уровни AL и MLU) отнесены к прибрежно-морским (маршевым) почвам, сформированным под мангровой растительностью: флювисоли (протосоли) и гистосоли соответственно. Кровли обеих почв содержат гипс (10% и более). Последнее обстоятельство может свидетельствовать, что почвы формировались в условиях пересыхающего засоленного бассейна.

Отложения в кровле михайловского горизонта (уровень КНУ) представляют собой сложный педокомплекс, нижняя часть которого представлена эродированной рендзиной. Ее перекрывает палеопочва, сформированная на тяжелой глине (тип вертисоль), и далее – палюстринный комплекс. Отложения уровня ВU представляют собой педокомплексы, сложенные рендзиной в нижней части, которая перекрывается палеопочвами типа флювисоли (протосоли).

Базовые характеристики этих объектов, химический состав и изотопный состав карбонатов даны на рисунке 10. Минеральный состав палеопочв идентичный – смектитовый, практически мономинеральный, с незначительной примесью каолинита (рисунок 11).

3.3. Акульшинский палюстринный комплекс

Специальные исследования были сфокусированы на изучении несогласия в кровле михайловского горизонта – уровень КНУ, известного в геологической литературе как «черный ризоидный известняк», «поверхность Геккера-Швецова», «Акульшинский палюстринный комплекс» (АПК) [Швецов, Махлина с соавт., 1993; Gibshman et al., 2009; Кабанов с соавт., 2012; Kabanov et al., 2014]. Отложения этого уровня изучены во всех обозначенных выше карьерах (таблица 1). АПК подстилает палеопочва типа вертисоль, в карьере Полотняный завод – это педокомплекс, состоящий из двух палеопочв разного генезиса.

Обобщая полевые морфологические описания изученных АПК и его комплексные аналитические характеристики, генезис отложений, слагающих данное несогласие, можно представить следующим образом. «Черный ризоидный» пресноводный известняк (мергель) стратиграфически несогласно, плащеобразно залегает на древней дневной поверхности. Неровная его по-

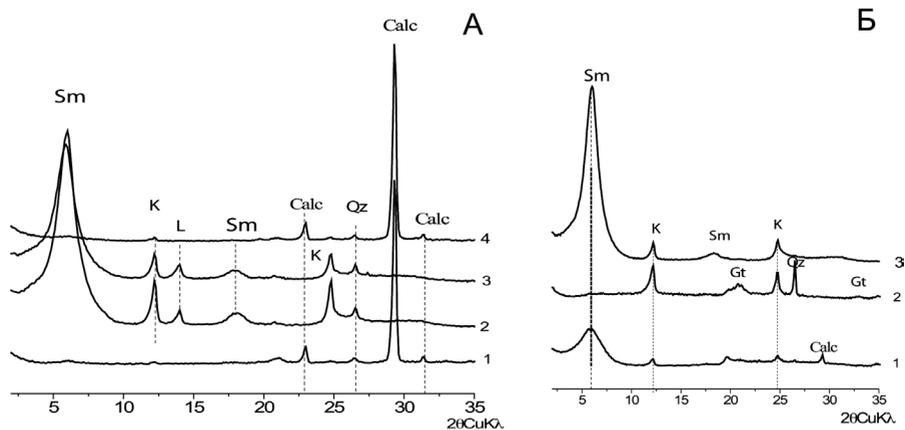


Рисунок 11. Минеральный состав палеопочв нижнего карбона в карьере Бронцы: А) уровень AL, фракция < 2 мкм, Mg-форма образцов. Слои 2 и 3 – палеопочва, слои 1 и 4 подстилающие и перекрывающие известняки; Б) палеопочва уровня КНУ. 1 – валовой образец, 2 – фракция > 2 мкм, 3 – фракция < 2 мкм, Mg-форма образца. Обозначения: Sm – смектит, K – каолинит, L – лепидокрокит, Qz – кварц, Gt – гетит, Calc – кальцит

дошва повторяет ее рельеф. Последний определяет мощность АПК, которая колеблется от первых сантиметров до 1,3 м, наиболее характерна мощность 60–80 см. Особенности АПК являются отсутствие морской фауны и густая сеть разнонаправленных ризоидов с преимущественно вертикальной ориентацией, которые пронизывают всю толщу, включая подошву. Изотопный состав С карбонатов «черного ризоидного известняка» находится в пределах: $-4,34\% < \delta^{13}C < -2,19\%$ (рисунок 12), что типично для палеостринных карбонатов [Alonzo-Zarza, 2003; Alcicek, Alcicek, 2014]. В подошве «черного ризоидного известняка» сформирована палеопочва, а в карьере Полотняный завод – педокомплекс из двух палеопочв (ПП) разного генезиса. Здесь снизу вверх друг друга сменяют породы субаэрального (ПП1 вертисоль) и субаэрально-субаквального (ПП2 на пресноводном мергеле) типов. Предполагается, что отложения мергеля могут представлять собой микробиологические постройки – микробиалиты (тромболиты). В работе предложена модель формирования данного несогласия.

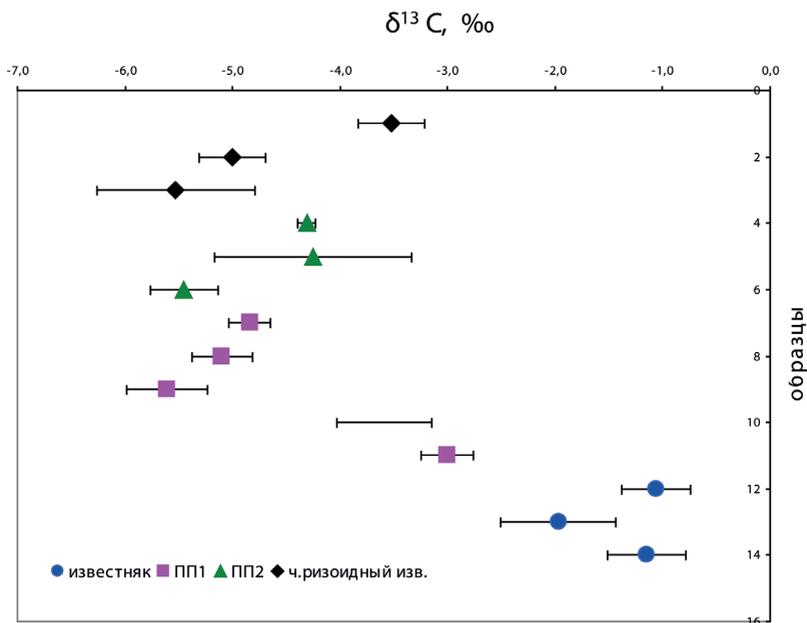


Рисунок 12. Карьер Полотняный завод. Изотопный состав углерода карбонатов отложений уровня КНУ

3.4. Палеопочвы среднего и верхнего карбона

Палеопочвы среднего и позднего карбона с разной степенью детальности изучены на следующих стратиграфических уровнях: гжельский ярус – 1 уровень; касимовский ярус – 2 уровня; подольский и мячковский подъярус московского яруса – 8 уровней; каширский подъярус московского яруса – 3 уровня (рисунок 6). Три палеопочвы верхнего карбона в московском ярусе изучены комплексно. Это палеопочва лопасненской свиты каширского подъяруса в карьере Малый Студенец; палеопочва в кровле васькинской свиты подольского яруса в карьерах Горы и Акатьево и палеопочва мячковского горизонта в карьере Касимов. Они являются частью верхнемосковских-раннекасимовских мелководных глинисто-карбонатных отложений Московской и севера Рязанской областей. Ранее морфологические и микроморфологические исследования этих объектов проведены и опубликованы П.Б. Кабановым [Кабанов, 2003]. «Сенницеручейская палеопочва» из разреза Горы, развитая в кровле васькинской свиты подольского горизонта московского яруса верх-

него карбона была также прослежена в карьерах Акатьево и Приокский (рисунок 6). Морфологически профиль субаэральной экспозиции представляет собой толщу раскарстованного известняка, перекрытую плотными зеленовато-серыми суглинками с включениями известняка – глинистым чехлом. Он состоит в нижней части из глубоковыветрелой окаربоначенной палеопочвы типа «рендзины» или «кальциевой литосоли». Ее перекрывают глинистые континентальные отложения, скорее всего, эфемерных озер и далее – известняки горской свиты. В минеральном составе илистой фракции образцов из обеих частей глинистого чехла преобладающей фазой является палыгорскит. Ископаемая палеопочва дополнительно содержит сепиолит, тонкодисперсный вторичный кальцит (микрит) и гипс. Изотопный состав микрита ($\delta^{13}\text{C} - 4,59 \pm 0,3 \%$) показал, что эти карбонаты сформировались при участии процессов фотосинтеза. По комплексу полученных характеристик данная палеопочва отнесена к Са-Mg палыгорскитовой аридной почве.

Комплекс минералогических и геохимических характеристик палеопочв каширского – мячковского интервала позднего карбона позволил заключить, что на изученной территории был распространен климат полупустынного – аридного типов с величиной атмосферных осадков $\leq 300\text{--}700$ мм/год. На обширной территории протяженностью $\sim 10^4$ тыс. км² господствовали ландшафты типа современной саванны/полупустыни, ограниченно заселенные высшими растениями. Палеоботанические находки представлены исключительно ризоидными β -калькретами. Эта «великая Са-Mg равнина» характеризовалась однородным почвенным покровом и осадками эфемерных озер [Kabanov et al., 2010].

Глава 4. ПЕДОСТРАТИГРАФИЯ. ПАЛЕОПОЧВЫ КАРБОНА КАК СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ

Понятие «педостратиграфия» (или почвенная стратиграфия) определено как наука о стратиграфических и пространственных взаимосвязях почв (поверхностных и погребенных). Педостратиграфия является одним из инструментов интерпретации континентальных этапов в развитии Земли, который широко используется для целей стратиграфии четвертичного периода, в частности, при изучении лессово-почвенных комплексов плейстоцена [Величко, Морозова, 1972; Болиховская, 1995; Elias, 2007 и др.]. В отношении дочетвертичных палеопочв использование данного инструмента остается во многом на стадии разработки. Выявленные при изучении четвертичных,

а также более древних природных обстановок возможности педостратиграфии позволили включить ее в качестве раздела в North American Stratigraphic Code (2005) (статьи 55–57). Фундаментальной единицей педостратиграфической классификации является «геосоль» – «погребенное прослеживаемое трехмерное геологическое тело, состоящее из одного или более выделяющихся горизонтов почвенной природы». Поскольку время формирования почв в масштабах геологического времени почти моментально (2–30 тыс. лет), они представляют собой идеальный объект для дробной корреляции отложений как на локальном, так и региональном уровнях.

Лито- и биостратиграфия каменноугольных отложений Подмосковского бассейна, включая отложения, вскрытые в карьерах, в которых проводились настоящие исследования, изучены несколькими поколениями геологов [Алексеев с соавт., 1998; Арешин с соавт., 2009; Бельская с соавт., 1975; Габдуллин с соавт., 2018; Кабанов, 2000, 2003, 2004; Махлина, 1976; Махлина с соавт., 1972, 1979, 1984; Осипова, Бельская, 1965; Теодорович, 1949; Швецов, 1922, 1938; Alekseev et al., 1996, 2004; Alekseev et al., 2015; Alekseev, Kabanov et al., 2009; Gibshman et al., 2009; Goreva, 2009; Kabanov et al., 2009, 2012, 2013, 2014, 2016; Nikitin, 1890, 1897 и др.]. Все толщи раннего, среднего и позднего карбона, общей мощностью до 600 м, детально изучены и разделены на горизонты, свиты и слои. Стратиграфия карбона, разработанная в Подмосковном бассейне, явилась в значительной степени основой общей стратиграфической шкалы карбона, принятой в нашей стране [Бельская с соавт., 1975]. Исследования каменноугольных отложений Подмосковского бассейна, сфокусированные на несогласиях, в т. ч. на изучении палеопочв, были инициированы П.Б. Кабановым и продолжены нашим коллективом.

В таблице 1 обобщены результаты изучения палеопочв нижнего карбона. Несмотря на латеральную пестроту почвенного покрова, горизонты развития палеопочв «читаемы» в стенках карьеров, прослеживаются в карьерах, расположенных на заметных расстояниях, что указывает на возможность их использования в качестве маркирующих, по крайней мере, для целей региональной стратиграфии.

Результаты проведенных исследований показали разную стратиграфическую значимость отложений, имеющих почвенные признаки. Часть выявленных палеопочв нижнего карбона маркирует кровли стратиграфических горизонтов. Как правило, они латерально выдержаны на значительные расстояния, что позволяет рассматривать их в качестве геосолей (рисунок 5).

Другие палеопочвы были выявлены в пределах стратиграфических горизонтов (алексинского, михайловского, веневского и тарусского). С их помощью возможна более детальная разбивка стратиграфических горизонтов на слои (толщи).

Педостратиграфический подход был использован Кабановым с соавт. [Кабанов, 2003; Kabanov, Baranova, 2007] для детализации имеющейся региональной стратиграфической шкалы московского и касимовского ярусов [Бельская с соавт., 1975; Махлина с соавт., 2001]. Для данного интервала выделены 10 уровней геосолей, которые соответствуют границам основных циклотем. Проведенное сравнение биостратиграфических делений (конодонты и фораминиферы) [Махлина с соавт., 2001] и педостратиграфических единиц показало соответствие основных границ.

Можно заключить, что изученные палеопочвы карбона являются значимыми стратиграфическими единицами: они маркируют границы горизонтов, а также позволяют детализовать разбивку стратиграфических горизонтов на слои.

Глава 5. РИЗОЛИТЫ: ТИПЫ, МИНЕРАЛЬНЫЙ, ХИМИЧЕСКИЙ И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВЫ. ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Фоссилизированные остатки корней растений являются предметом исследований палеонтологов с конца XIX века. Для их описания в разные годы авторы использовали множественные термины, такие, например, как: ризоморфы, ризоконкреции, педотубулы, корневые структуры, корневые слепки, корнеподобные структуры, корневые пустоты и др. В наши дни наиболее распространенным и наиболее общим является термин «ризолит» [Кларра, 1980; Tabor, Myers, 2015; Zamanian et al., 2016]. Наличие инситуальных фоссилизированных корней и корневых систем растений – ризолитов является первостепенным критерием при обнаружении палеопочв. Показано, что тип ризолитов и их состав (минеральный, химический, изотопный) отражают водный режим почв, дренажные условия, палеоклимат (величину атмосферных осадков) и характеризуют палеоландшафт в целом [Феофилова, 1972; Кларра, 1980; Kraus, Nasiotis, 2006; Иноземцев, 2010; Tabor, Myers, 2015]. Вместе с тем, интерпретация полученных результатов бывает неоднозначной. Нерешенными остаются вопросы, всегда ли ризолиты сингенетичны почвообразованию или являются продуктом педодиагенеза; как условия захоронения влияют на их состав и др.

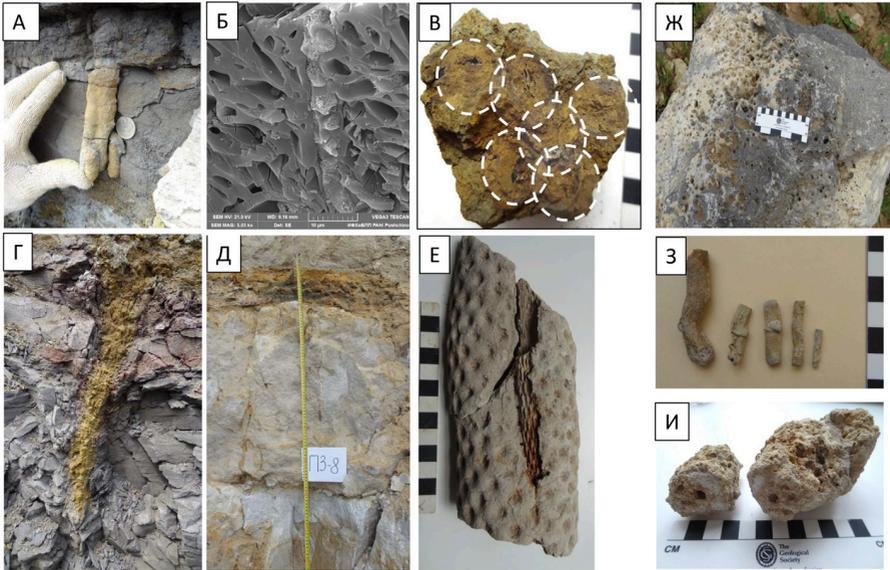


Рисунок 13. Типы ризолитов в изученных палеопочвах: А – Павловский карьер, ПП 3 склонового педокомплекса, петрифицированные сидеритом корни, Б – строение тканей ризолита (А); В – Павловский карьер, ПП 2 склонового комплекса, почвенная ризоконкреция, Г – Павловский карьер, ПП 1 водораздельного педокомплекса, ризолит – клин, представляющий собой фрагмент корневой системы археоптериса; Д – карьер Полотняный завод, нижний карбон, форинское несогласие, отпечатки корневых систем двух типов травянистых растений; Е – карьер Бронцы, нижний карбон, михайловский горизонт, *Stigmaria*; Ж – карьер Полотняный завод, ранний карбон, «Холмское несогласие», каналы пустоты в «черном ризоидном известняке»; З – карьер Полотняный завод, нижний карбон, «Холмское несогласие», палеопочва в подошве «черного ризоидного известняка» – ризолиты-слепки; И – карьер Бронцы, ризолиты – ризокреции в кальцисоли уровня VN2

Ризолиты из ископаемых почв среднего и верхнего девона Павловского карьера представлены преимущественно петрифицированными корнями. Помимо ризолитов этого типа были выделены два подтипа ризолитов, являющиеся его производными. Это – клинья, отнесенные к постпедогенно-преобразованным петрифицированным остаткам корневых систем деревьев (пней) и Fe-конкреции, сложенные выветрелыми фрагментами петрифицированных корней – ризоконкреции (рисунки 13А–Г). Петрифицированные корни имеют диаметр от первых миллиметров до 3 см. Чаще всего они представлены корнями сходного габитуса, имеющего форму трубки (сигары). Они могут быть как единичными, так и формировать пучки – кластеры до 60 корней. Глубина

проникновения их различна, максимальные значения составляют 50–60 см. В минеральном составе ризолитов доминируют Fe-содержащие минералы: сидерит и гетит в разных пропорциях. Некоторые из них содержат углефицированное органическое вещество с частичным сохранением строения тканей.

Замещенные сидеритом корни из кровли палеопочвы ястребовского горизонта (склоновый педокомплекс), захороненной катастрофически под метровым слоем плотных аргиллитов, характеризуются исключительной сохранностью облика и содержат остатки органического вещества, что позволило изучить строение тканей в деталях [Наугольных, 2015]. Они отнесены к новому виду примитивного прогимноспермного растения – *Radicitis devonicus* Naugolnykh, близкому родам *Archaeopteris* Dawson и *Tanaites* Krassilov.

В химическом составе сидеритовых ризолитов преобладают Fe (6–46%) и С (до 11%). Дополнительно в заметном количестве могут содержаться Mn (1–50%), Ti (1–5%), а также (в порядке убывания): Ca, Co, Mg, P, S. Изотопный состав С в сидерита ризолитах находится в пределах $-12,5 < \delta^{13}\text{C} < -9\%$, а вмещающей почвы $-8,6 < \delta^{13}\text{C} < -5,8\%$. Таким образом, изотопный состав С в ризолитах формировался при участии CO_2 дыхания корней и углерода разлагающихся корневых тканей.

Основной тип ризолитов в палеопочвах нижнего карбона, сформированных на известняках, – заполнения корневых каналов – пустот (или слепки), реже встречаются отпечатки и каналы – пустоты, единично – ризокреции. В отличие от ризолитов из палеопочв девона для всех типов ризолитов из палеопочв нижнего карбона характерна полная минерализация растительных тканей (рисунки 13Д–3). В палеопочвах верхнего карбона ризолиты представлены редкими мм-размерности корневыми каналами.

Особый интерес представляют ризолиты – ризокреции, обнаруженные в палеопочве веневского горизонта в карьере Бронцы. Ризокреции представляют собой трубки, в которые на глубине около 50 см от бывшей дневной поверхности переходят корневые каналы (рисунок 13И). Трубки имеют диаметр 3–6 см и длину до 10 см. Электронно-микроскопическое изучение деталей строения ризолитов показало, что снаружи трубки окружены многочисленными округлыми образованиями диаметром около 50 мкм, которые сложены кальцитом микритовой размерности. Полагаем, что эти образования представляют собой споры микоризных грибов.

Изотопный состав карбонатов в описанных ризолитах находится в широких пределах: $-5,68 < \delta^{13}\text{C} < -1,16\%$ и близок изотопному составу вмещающих карбонатов. Исключением являются ризокреции со следами дея-

тельности микоризных грибов, для которых разница с изотопным составом палеопочвы составляет более 6‰. Данные ризокреции сформированы в автоморфных условиях. Залегание горизонта почвенных карбонатов на глубине 50 см соответствует полуаридному климату с величиной осадков около 600 мм/год [Zamanian et al., 2016; Алексеева с соавт., 2016, 2016а, 2018].

Наличие ископаемых корней (ризолитов) *in situ* – это не только перво-степенный почвенный признак. Из-за плохой сохранности наземных частей многих растений их фоссилизированные подземные части часто являются единственными свидетельствами растительности. В качестве примера можно назвать «стигмариевые» известняки визейского возраста на территории Подмосковского бассейна – уникальный тип захоронения ризофоров типа *Stigmara*, принадлежавших древесным плауновидным. Как продукт ископаемых ризосфер и былых биосфер в целом, ризолиты несут важнейшую палео-экологическую функцию реконструкции растительного мира, его эволюции и обстановок окружающей среды. Биоразнообразии, продуктивности ценозов (биомасса), геоморфологические преференции, окислительно-восстановительные обстановки, особенности химического состава почвы, дренажные условия, стрессовые ситуации, температура почвы, состав атмосферы – это не полный круг решаемых с их помощью задач.

Глава 6. РАСТИТЕЛЬНЫЕ МАКРО- И МИКРОФОССИЛИИ

Помимо фоссилизированных корневых систем палеопочвы среднего и верхнего девона в Павловском карьере вмещают богатейший комплекс остатков наземной флоры, представленный как макро-, так и микрофоссилиями, многие из которых характеризуются непревзойденной степенью сохранности. В данной главе представлены фотографии многочисленных флористических находок и результаты их микроскопического изучения (SEM). Большая часть находок на сегодняшний день отнесена к разряду «неопределенных» и требует дальнейшего исследования. Среднедевонская флора отложений Павловского карьера представлена фитолеймами растений родов *Orestovia* и *Bitelaria* (рисунки 14А–Г). Интересна находка здесь же макро-остатков не определенного на сегодняшний день организма, предположительно рода *Nematophyton* (рисунки 14Д–З). Его микроостатки в изобилии встречаются и в мацерированных препаратах образцов из этого педокомплекса.

Леса, в составе которых первый ярус составляли деревья рода *Archaeopteris*, занимали возвышенные участки суши. Их многочисленные

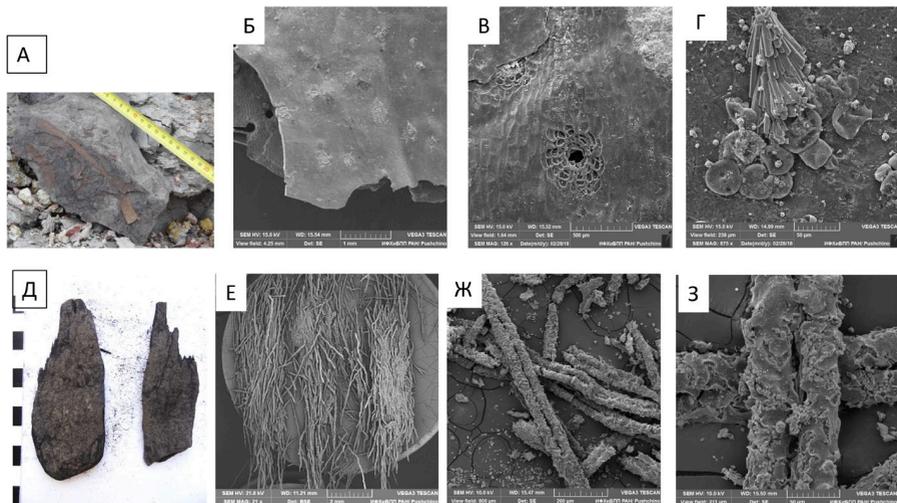


Рисунок 14. Павловский карьер. Флоры из пойменного педокомплекса (ПК–III). А–Г – *Orestovia-Schuguria*: А – общий вид фитолеймов. Б–В – детали строения; Г – споры, в верхней части – кристаллы гипса (данные СЭМ). Д–З неопределенные фоссилии, предположительно *Nematophyton*: Д – макрофоссилии; Е–З – детали строения (данные СЭМ)

остатки в виде пней, стволов и веток с древесиной типа *Callixylon* найдены как в переотложенных туфах, вулканогенно-осадочных породах, так и в палеопочве в кровле девона. В зависимости от условий захоронения древесина имеет очень хорошую сохранность, углефицирована, либо пиритизирована.

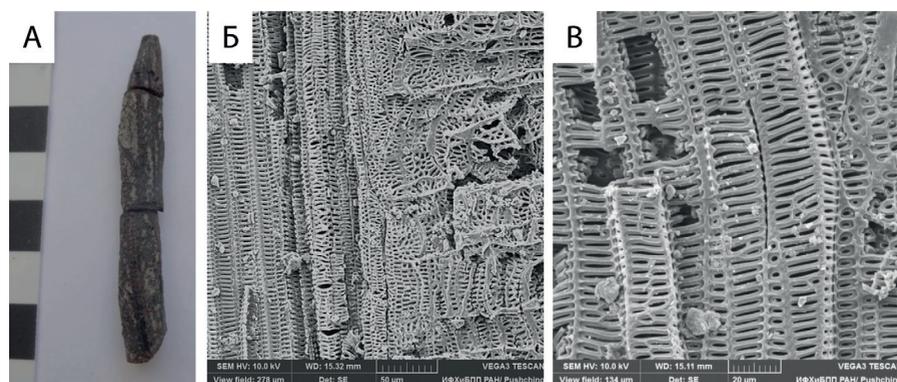


Рисунок 15. Растительные остатки в палеопочвах раннего карбона. А – *Archaeosigillaria* sp. *vanuxemi* в ПП 1 уровня КНУ в карьере Полотняный завод: общий вид; Б–Б' – строение тканей (СЭМ)

По сравнению с палеопочвами девона Павловского карьера, изученные палеопочвы карбона Московской синеклизы существенно беднее флористическими находками. Основными находками в палеопочвах нижнего карбона являются фоссилизированные остатки подземных побегов лепидодендроновой растительности – *Stigmaria ficoides*.

Значимой находкой являются макроскопические остатки травянистого растения *Archaeosigillaria* sp. *vanuxemi* в палеопочве в кровле михайловского горизонта (уровень КНУ) в карьере Полотняный завод (рисунок 15). В палеопочвах среднего и верхнего карбона находки ископаемой флоры не обнаружены.

Глава 7. ЗАХОРОНЕННОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО

Литификация, погребенный диагенез и эрозия уничтожают многие диагностические свойства палеопочв (рисунок 2). Во многом это касается и почвенного органического вещества (ОВ). Известно, что для четвертичных палеопочв в зависимости от условий погребения потери органического углерода ($C_{\text{орг}}$) могут составлять до 70% уже за первые сотни лет погребения [Губин, 1984; Демкин с соавт., 2007].

Результаты изучения ОВ в составе илистой фракции палеопочв девона, нижнего, среднего и верхнего карбона показали, что содержание $C_{\text{орг}}$ в них находится в очень широких пределах: 0,5–5,5%. Рассмотрим детально свойства гумуса в палеопочвах нижнего карбона на примере карьера Бронцы. Содержание $C_{\text{орг}}$ в илистой фракции гумусо-аккумулятивных горизонтов этих палеопочв находится в пределах 1,65–5,30%. Ископаемый гумус здесь представлен как гуматным, так и фульватным типом. Содержание негидролизуемого остатка (гумина) очень низкое. Изучение структурного состояния $C_{\text{орг}}$ в составе илстых фракций методом твердофазной ^{13}C ЯМР спектроскопии показало, что на большинстве спектров преобладающими являются пики, принадлежащие С-ариллов (ароматических структур), что типично для углей. При этом палеопочвы всех стратиграфических уровней имеют близкий минеральный состав глин: доминирующим минералом илстых фракций является низкозарядный смектит.

Особый интерес представляет ОВ палыгорскитовых палеопочв аридного типа. Детально изучено ОВ в составе органо-минерального комплекса ископаемой почвы из подольского горизонта московского яруса в карьере Горы (рисунок 6). Содержание $C_{\text{орг}}$ в илистой фракции А-гор. этой палеопочвы составляет 1,1–1,5%. Исследование ОВ этого комплекса с при-

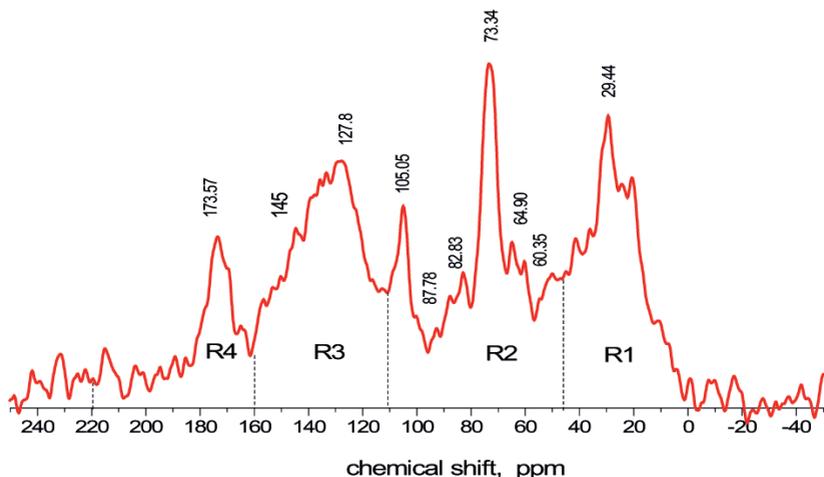


Рисунок 16. Карьер Горы. ^{13}C -ЯМР спектр органического вещества в составе илистой фракции органогенного горизонта «Сеницеручейской» палыгорскитовой палеопочвы

менением ^{13}C ЯМР-спектроскопии показало, что гуминовые вещества в нем имеют алифатическую природу, при этом содержание алкилов и О-алкилов практически равное: 29 и 27% соответственно (рисунок 16). Полагаем, что именно палыгорскитовый состав минеральной составляющей комплексов ответственен за сохранность О-алкилов ископаемого гумуса фульватного типа. Он идентичен таковому в современных почвах полупустынного типа.

Глава 8. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОКЛИМАТА СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ В ДЕВОНЕ И КАРБОНЕ. СРАВНЕНИЕ С ТЕРРИТОРИЕЙ СЕВЕРНОЙ АМЕРИКИ

Наряду с возрастом химическая «зрелость» пород теснейшим образом связана с климатической обстановкой их формирования, что позволяет использовать химический состав отложений для палеоклиматических реконструкций. Так называемый геохимический подход базируется на эмпирических зависимостях коэффициентов выветривания, связывающих изменения валового химического состава минеральной массы с климатическими факторами: среднегодовыми осадками (МАР) и среднегодовой температурой (МАТ). К числу индексов, наиболее часто используемых для реконструк-

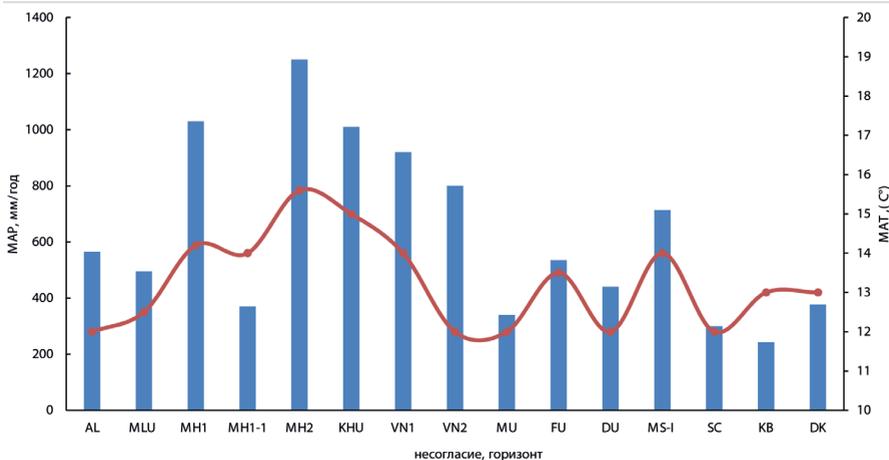


Рисунок 17. Реконструкции палеоклимата карбона для изученной территории Московской синеклизы. Обозначения возраста палеопочв (уровней несогласий) (см рисунки 5 и 6)

ции палеоклимата, относятся индексы CIA, CIA-K и PWI [Alekseeva et al., 2016; Sheldon et al., 2002; Sheldon, Tabor, 2009]. Полученные результаты количественных расчетов величины атмосферных осадков свидетельствуют, что на позднеживетском-раннефранском интервале девона на изученной территории климат был экваториальным тропическим, теплым и влажным. Среднегодовые температуры достигали 19 ± 3 °C. Величина атмосферных осадков составляла 900–1200 мм/год. Этот вывод подтверждает и каолинит-гетит-гематитовая минеральная ассоциация. Широкое распространение в отложениях живета фитолеймов *Orestovia voronejiensis*, *Schuguria ornate*, *Bitelaria* – растений с толстой кутикулой, указывает на то, что климат, возможно, был сезонно аридным.

Количественные расчеты величин атмосферных осадков для палеопочв карбона показали, что в карбоне на обозначенной территории имели место существенные флуктуации климата (рисунок 17). Величина атмосферных осадков колебалась в широких пределах: ~340–1250 мм/год. Аридные периоды сопровождалась падением среднегодовой температуры в среднем на 3 °C. Обозначенные этапы аридизации климата отмечены формированием в верхних гумусоаккумулятивных горизонтах палеопочв отложений гипса. Наметившийся в раннем карбоне тренд в направлении роста содержания

Mg-минералов продолжился в отложениях среднего и позднего карбона. В минеральном составе палеопочв этого интервала абсолютно доминирует палыгорскит. Колебания атмосферной увлажненности при этом находились в пределах 240–700 мм/год.

В экваториальной зоне суперконтинента Пангея – на территории современной Канады, США и Мексики – на интервале середина московского века – граница московского и касимовского веков – имела место аридизация с глобальной сменой растительного покрова, когда тропические гигрофитные лепидодендроновые леса были вытеснены засухоустойчивыми древовидными папоротниками, кордаитовыми, птеридоспермовыми [DiMichelle et al., 2001, 2011; Falcon-Lang, 2004; Falcon-Lang et al., 2018]. На настоящий момент не сложилось единого мнения на причину глобальной аридизации климата, имевшей место в позднем карбоне – перми [DiMichelle et al., 2011]. Наиболее распространенным является мнение, что аридизация климата в позднем карбоне была обусловлена комплексом факторов и в первую очередь – наступлением оледенения, его масштабным III позднепалеозойским эпизодом [Alekseev et al., 1996, 2004; Isbell et al., 2008; DiMichelle et al., 2011; Falcon-Lang et al., 2018 и др.].

Результаты моделирования климата, полученные с применением модели GENESIS 3.0 Earth system [Berner, 2003], показали, что в позднем карбоне максимальная величина средней атмосферной увлажненности имела место вблизи экватора ~1900 мм/год, кривая распределения осадков к югу и северу от экватора практически симметрична. На широте 10–15° величина осадков падала до 770 мм/год. Минимальная величина фиксируется на широте 25° и составляла 370 мм/год. Приблизительно такой же порядок величин получен нами исходя из характеристик изученных палеопочв московско-гжельского интервала.

Полученные результаты показали отличие климатических обстановок и палеопочв в карбоне на территории Северной Евразии от экваториальной зоны суперконтинента Пангея (территории современной Канады, США и Мексики), где аридизация, обусловленная III эпизодом позднепалеозойского оледенения, зафиксирована начиная с середины позднего карбона (московский – касимовский ярусы).

ВЫВОДЫ

1. Уровни субэзральных перерывов и палеопочв девона как для территории Евразии, так и для большинства других континентов редки, что объясняется, прежде всего, малой амплитудой колебаний уровня Мирового океана в условиях девонской безледниковой Земли. Одна из возможностей

формирования палеопочв – на поднятых блоках. Длительный этап континентального развития изученной территории и катастрофические события объясняют формирование здесь сложных педокомплексов, состоящих из нескольких (до 5) наложенных и/или вложенных палеопочв. В отложениях карбона Подмосковского осадочного бассейна палеопочвы в основном маркируют эвстатические несогласия. Почвенный покров карбона на обозначенной территории характеризовался стратиграфической и латеральной (за малым исключением) неоднородностью.

2. Большинство выявленных палеопочв карбона являются значимыми стратиграфическими единицами и могут рассматриваться в качестве геосолей. Как правило, они маркируют границы горизонтов. Уровни развития палеопочв внутри региональных горизонтов позволяют детализовать их стратиграфическую разбивку. Помимо событийной, не менее важна их роль для детализации климата континентальных этапов развития территории.

3. Анализ впервые составленных карт-схем находок палеопочв девона и карбона на территории Лавруссии и Пангеи показал, что в девоне и нижнем карбоне находки сосредоточены в приэкваториальной зоне и к югу от экватора до Южного тропика. Большинство из них принадлежит к аazonальному (энтисоли, инсептисоли, аллювиальные) и интразональному (гистосоли, вертисоли) рядам. Преобладают палеопочвы гумидного ряда (болотные палеопочвы). В среднем и позднем карбоне развитие получают зональные палеопочвы – аржиллисоли (лессивированные почвы гумидного ряда) и кальцисоли семиаридного – аридного рядов. Наши находки аналогов зональных почв девона на территории ЦДП – оксисолей и аржиллисолей – являются на сегодняшний день единственными. Находки на территории Подмосковского осадочного бассейна зональных палеопочв среднего/позднего карбона – Са-Mg аридных – палыгорскитовых и палюстринных комплексов также не имеют аналогов. Почвенный покров Лавруссии развивался в сторону увеличения разнообразия почв за счет увеличения типов зональных почв, что отражает изменения в природной, в т. ч. климатической зональности Земли, рост ее контрастности.

4. Особенностью минерального состава изученных палеопочв является (за редким исключением) его мономинеральность. Ассоциация каолинит-сидерит-гетит – специфическая ассоциация, отмечаемая для древних континентальных отложений, включая девон. Верхние глинистые палеопочвы двучленов раннего карбона, как правило, сложены смектитами. В среднем и позднем карбоне с нарастанием аридности климата отмечается возрастание роли Mg-содержащих минералов: палыгорскита и сепиолита.

5. Ризолиты – инситуальные фоссилизированные корни растений являются продуктами ископаемых ризосфер. Их наличие часто является перво-степенным критерием при обнаружении палеопочв. Детальное изучение морфологических особенностей ризолитов, их субмикроскопического строения, вещественного состава (химического, минералогического, изотопного) показало, что объем получаемой информации определяется типом ризолита.

6. Структурные особенности захороненного в палеопочвах ОВ определяются свойствами минеральной матрицы. Уникальная сохранность ОВ, включая О-алкилы, выявлена в палыгорскитовых палеопочвах среднего и верхнего карбона, их фульватный тип гумуса идентичен гумусу современных полупустынных почв.

7. В среднем и позднем девоне на обозначенной территории преобладал жаркий и влажный климат: среднегодовые температуры достигали 19 ± 3 °С, величина среднегодовых осадков составляла 900–1200 мм. В раннем карбоне величина атмосферных осадков колебалась в широких пределах 340–1250 мм/год. Начиная с веневского времени климат характеризовался постепенным нарастанием аридности. В среднем и позднем карбоне величина атмосферных осадков составляла 240–700 мм/год с минимумом в московском веке (подольское время). Снижение величины атмосферных осадков в позднем карбоне сопровождалось снижением среднегодовой температуры в среднем на 3 °С. Сделан вывод о сезонности климата в карбоне. Аридизация климата в карбоне, обусловленная наступлением III эпизода оледенения, сопровождалась сменой растительного покрова. Начиная с протвинского времени, на изученной территории началось формирование ландшафтов полупустынного облика.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. *Алексеева, Т. В.* Негидролизующий остаток органического вещества погребенных и современных почв / Т.В.Алексеева, Б.Н. Золотарева, Ю.Г. Колягин // Почвоведение. – 2019а. – № 6. – С. 687–699.
2. *Алексеев, А. О.* Почвенные индикаторы параметров палеоэкологических условий на юге Восточно-Европейской равнины в четвертичное время / А.О. Алексеев, П.И. Калинин, Т.В. Алексеева // Почвоведение. – 2019в. – № 4. – С. 389–399.

3. *Алексеева, Т. В.* Палеопочвы нижнего карбона в карьере «Бронцы» (Калужская область) / Т. В. Алексеева, А. О. Алексеев, П. И. Калинин // Почвоведение. – 2018. – № 7. – С. 787–800.
4. *Alekseev, A. O.* Paleosols and Weathering Crusts of the Middle-Late Devonian in the Mikhailovskii Quarry (Kursk Magnetic Anomaly) / А. О. Alekseev, Т. V. Alekseeva, P. B. Kabanov, P. I. Kalinin // Paleontol. Journal. – 2018. – Vol. 52 (10). – P. 2–11.
5. *Alekseeva, T. V.* Palaeoenvironments of the Middle–Late Mississippian Moscow Basin (Russia) from multiproxy study of palaeosols and palaeokarsts/ Т. V. Alekseeva, А. О. Alekseev, S. V. Gubin, P. B. Kabanov, V. A. Alekseeva // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2016a. – Vol. 450. – P. 1–16.
6. *Alekseeva, T.* Characteristics of early Earth`s critical zone based on Middle-Late Devonian palaeosols properties (Voronezh High, Russia) / Т. Alekseeva, P. Kabanov, А. Alekseev, P. Kalinin, V. Alekseeva // Clays and Clay Minerals. – 2016b. – Vol. 64 (5). – P. 677–694.
7. *Алексеева, Т. В.* Палеопочвенный комплекс в кровле михайловского горизонта (визейский ярус нижнего карбона) на территории южного крыла Московской синеклизы / Т. В. Алексеева, А. О. Алексеев, С. В. Губин // Палеонтол. журн. – 2016. – № 4. – С. 5–20.
8. *Алексеева, Т. В.* Фракционирование гуминовых кислот в ходе адсорбции на монтмориллоните и палыгорските / Т. В. Алексеева, Б. Н. Золотарева // Почвоведение. – 2013а. – № 6. – С. 658–671.
9. *Татьянченко, Т. В.* Минералогический и химический составы разновозрастных подкурганых палеопочв южных Ергеней и их палеоклиматическая интерпретация /Т. В. Татьяначенко, Т. В. Алексеева, П. И. Калинин // Почвоведение. – 2013б. – № 4. – С. 379–392.
10. *Татьянченко, Т. В.* Вещественный состав разновозрастных палеопочв курганной группы «Авилов» как отражение динамики климата на территории Русской равнины во второй половине голоцена / Т. В. Татьяначенко, Т. В. Алексеева // Вестник ВГУ. Сер. Геология. – 2012. – № 1. – С. 38–50.
11. *Кабанов, П. Б.* Серпуховский ярус карбона в типовой местности: седиментология, минералогия, геохимия, сопоставление разрезов / П. Б. Кабанов, Т. В. Алексеева, А. О. Алексеев // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2012. – Т. 20. – № 1. – С. 18–48.
12. *Kabanov, P. B.* Paleosols in late Moscovian (Carboniferous) marine carbonates of the East European craton revealing “great calcimagnesian plain” paleolandscapes / P. B. Kabanov, T. V. Alekseeva, V. A. Alekseeva et al. // J. Sed. Res. – 2010. – Vol. 80. – P. 195–215.
13. *Алексеева, Т. В.* Фракционирование гуминовых кислот при взаимодействии с глинистыми минералами по данным ¹³C ЯМР-спектроскопии /

- Т. В. Алексеева, Б. Н. Золотарева, Ю. Г. Колягин // Докл. АН. – 2010а. – Т. 434. – № 5. – С. 712–717.
14. *Алексеева, Т. В.* Физико-химические и минералогические признаки солонцового процесса в почвах Нижнего Поволжья в позднем голоцене / Т. В. Алексеева, А. О. Алексеев, В. А. Демкин и др. // Почвоведение. – 2010б. – № 10. – С. 1171–1189.
 15. *Алексеева, Т. В.* Гуминовые вещества в составе палыгорскитового органоминерального комплекса из ископаемой почвы верхнего карбона южного Подмосковья / Т. В. Алексеева, П. Б. Кабанов, Б. Н. Золотарева, А. О. Алексеев, В. А. Алексеева // Докл. АН. – 2009. – Т. 425. – № 2. – С. 265–270.
 16. *Alekseeva, T.* Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried palaeosols / T. Alekseeva, A. Alekseev, V. A. Maher, V. Demkin // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2007. – Vol. 249. – P. 103–127.
 17. *Заварзина, Д. Г.* Роль железоредуцирующих бактерий в формировании магнитных свойств степных почв / Д. Г. Заварзина, А. О. Алексеев, Т. В. Алексеева // Почвоведение. – 2003. – № 10. – С. 1218–1227.
 18. *Maher, B. A.* Magnetic mineralogy of soils across the Russian steppe: climatic dependence of pedogenic magnetite formation / B. A. Maher, A. Alekseev, T. Alekseeva // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2003. – Vol. 201. – № 3–4. – P. 321–341.
 19. *Алексеев, А. О.* Магнитные свойства и минералогия соединений железа степных почв / А. О. Алексеев, Т. В. Алексеева, Б. А. Махер // Почвоведение. – 2003. – № 1. – С. 62–74.
 20. *Maher, B. A.* Variation of soil magnetism across the Russian steppe: its significance for use of soil magnetism as a palaeorainfall proxy / B. A. Maher, A. Alekseev, T. Alekseeva // *Quaternary Sci. Rev.* – 2002. – Vol. 21 – P. 1571–1576.
 21. *Алексеев, А. О.* О формировании лепидокрокита в почвах / А. О. Алексеев, Т. В. Алексеева // Почвоведение. – 2000. – № 10. – С. 1203–1210.

Монографии и главы в монографиях:

1. *Alekseev, A. O.* Magnetic susceptibility and geochemical characterization of an upper Mississippian cyclothemic section Polotnyanyi Zavod (Moscow Basin, Russia) / A. O. Alekseev, P. B. Kabanov, T. V. Alekseeva, P. I. Kalinin. *In: Magnetic Susceptibility Application: A Window onto Ancient Environments and Climatic Variations*. – Geological Society, London, Special Publications. – 2015. – Vol. 414. – P. 181–198.
2. *Алексеев, А. О.* Оксидогенез железа в почвах степной зоны / А. О. Алексеев, Т. В. Алексеева – М.: ГЕОС, 2012. – 204 с.

3. *Alekseeva, T. V.* Clay minerals and organo-mineral associates / T. V. Alekseeva. In: Encyclopedia of Agrophysics. Jan Glinski, Józef Horabik, Jerzy Lipiec (eds.). – Springer Verlag. – 2011. – 900 p.
4. *Демкин, В. А.* Палеопочвы как индикаторы эволюции биосферы / В. А. Демкин, Л. А. Гугалинская, А. О. Алексеев и др. – М.: НИИ – Природа. – 2007. – 282 с.

Некоторые другие публикации:

1. *Алексеева, Т. В.* Палеопочвы карбона Московской синеклизы. Органическое вещество, минералогическая и геохимическая характеристика / Т. В. Алексеева, А. О. Алексеев, П. Б. Кабанов и др. // Рабочее совещание по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Происхождение биосферы и эволюция гео-биологических систем». Москва. ПИН РАН. – 2009. – С. 1–9.
2. *Алексеева, Т. В.* Палеопочвы карбона Московской синеклизы: гуминовые вещества, минералогические и геохимические свойства / Т. В. Алексеева, А. О. Алексеев, П. Б. Кабанов и др. // Сб.: Палеопочвы и индикаторы континентального выветривания в истории биосферы. Серия «Гео-биологические системы в прошлом». М.: ПИН РАН. – 2010. – С. 76–94.
3. *Kabanov, P. B.* Carboniferous Disconformities, Paleosols and Paleolandscapes of the East European Craton / P. B. Kabanov, T. V. Alekseeva, A. O. Alekseev et al. // Abstracts of GeoCanada 2010 – Working with the Earth. – P. 1–4.
4. *Alekseeva, T. V.* Clay mineralogy and organo-mineral associations of Carboniferous paleosols (Moscow region, Russia) / T. V. Alekseeva, V. N. Zolotareva, P. B. Kabanov // Acta mineralogica-petrographica, Abstracts series. MECC2010. Budapest, Hungary. – 2010. – Vol. 6. – P. 640.
5. *Алексеева, Т. В.* Ископаемые почвы карбона Московской синеклизы: минералогический состав и органическое вещество / Т. В. Алексеева, Б. Н. Золотарева, П. Б. Кабанов, А. О. Алексеев // Палеострат–2011. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП. – М.: ПИН РАН, 2011. С. 10–11.
6. *Алексеев, А. О.* Палеопочвы девона Центрального девонского поля: морфология, минералогия, геохимия / А. О. Алексеев, Т. В. Алексеева, П. Б. Кабанов, С. В. Губин // Палеострат–2012. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП. – М.: ПИН РАН, 2012. – С. 5.
7. *Alekseeva, T.* Palustrine beds in Late Mississippian epeiric–sea carbonate succession (Southern Moscow basin, Russia) as calcimagnesian pedosedimentary systems / T. Alekseeva, P. Kabanov, A. Alekseev // Book of Abstracts. 6th MECC 12. Pruhonice. – 2012. – P. 29.

8. *Kabanov, P. B.* Devonian and Carboniferous paleosols of central southern East European Craton preserving pristine magnetic, mineralogical, and geochemical signatures / P. B. Kabanov, A.O. Alekseev, T.V. Alekseeva // Joint meeting IGCP-580 & IGCP-596: Geophysical and Geochemical Techniques: A Window on the Palaeozoic World. 2013, 27 Aug. – 1st Sept. Abstracts. – Calgary, Canada, 2013. P. 38–39.
9. *Alekseeva, T.* Givetian paleosols of Voronezh region (European Russia): geochemistry, mineralogy / T. Alekseeva, P. Kabanov, A. Alekseev, V. Alekseeva // International Field Symposium “The Devonian and Lower Carboniferous of the northern Gondwana”. Document de l’Institut Scientifique, Rabat, 2013a. – № 26. – P. 16–17.
10. *Alekseeva, T.* Carboniferous paleosols and paleolandscapes of East European Craton (Southern Moscow Basin, Russia) / T. Alekseeva, A. Alekseev, P. Kabanov, V. Alekseeva // International Field Symposium “The Devonian and Lower Carboniferous of the northern Gondwana”. Document de l’Institut Scientifique, Rabat, 2013b. – № 26. – P. 14–15.
11. *Алексева, Т. В.* Палеопочвы девона Воронежской антеклизы (Павловский карьер) / Т. В. Алексева, П. Б. Кабанов, А. О. Алексеев и др. // Палеострат–2013. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП. – М.: ПИН РАН, 2013. – С. 8–9.
12. *Алексеев, А. О.* Палеопочвы живетского яруса девона (Михайловский ГОК КМА): морфология, минералогия, геохимия / А. О. Алексеев, Т. В. Алексева, П. Б. Кабанов, Е. И. Елфимов // Палеострат–2013. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП. – М.: ПИН РАН, 2013. – С. 6.
13. *Alekseeva, T.* Middle–Late Devonian paleosols and palaeolandscapes of Central Devonian Field / T. Alekseeva, P. Kabanov, A. Alekseev et al. // European Geosciences Union General Assembly 2014, Vienna, Austria, 27 April – 02 May. Abstract EGU2014–16643.
14. *Алексева, Т. В.* Палеопочвы нижнего карбона (верхневизейский–нижнесерпуховский интервал) в карьере Полотняный завод / Т. В. Алексева, П. Б. Кабанов, А. О. Алексеев и др. // Палеострат–2014. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП. – М.: ПИН РАН, 2014. – С. 4–5.
15. *Алексеев, А. О.* Использование магнитной восприимчивости в качестве палеоклиматической записи для пород и палеопочв палеозоя / А. О. Алексеев, Т. В. Алексева, П. Б. Кабанов, П. И. Калинин // Палеострат–2014. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП. – М.: ПИН РАН, 2014. – С. 1.
16. *Алексева, Т. В.* Девонские палеопочвы в Павловском гранитном карьере (Воронежская обл.) по результатам экспедиций 2013–2014 гг. / Т. В. Алексева, А. О. Алексеев, С. В. Губин, П. И. Калинин, П. Б. Каба-

- нов // Палеострат–2015. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП. – М.: ПИН РАН, 2015. – С. 8–9.
17. *Alekseeva, T.* Characteristics of early Earth's critical zone based on Devonian palaeosols properties (Voronezh Anteclyse, Russia) / T. Alekseeva, P. Kabanov, A. Alekseev, P. Kalinin // Euroclay 2015. Abstracts. – P. 347.
 18. *Алексеева, Т. В.* Девонский «взрыв» на территории Воронежской антеклизы; первые находки палеопочв / Т. В. Алексеева, А. О. Алексеев, С. В. Губин, П. И. Калинин // 2-я Всероссийская конференция по астробиологии. Пушино, 5–9 июня, 2016. – Сборник тезисов. – С. 41.
 19. *Алексеева, Т. В.* Палеопочвы нижнего карбона в карьере «Бронцы» (Калужская область) / Т. В. Алексеева, А. О. Алексеев, П. И. Калинин, Д. А. Мамонтов // Палеострат–2017. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП. – М.: ПИН РАН, 2017. С.77.
 20. *Алексеев, А. О.* Биокосные системы девона – палеопочвы и коры выветривания (Михайловский карьер КМА) / А. О. Алексеев, Т. В. Алексеева, П. Б. Кабанов, П. И. Калинин // Микробные сообщества и эволюция биосферы с древнейших времен до наших дней. М.: ПИН РАН, 2017. С. 134–148.
 21. *Алексеева, Т. В.* Ризолиты в палеопочвах девона и нижнего карбона и их палеоэкологическая интерпретация / Алексеева Т. В. // Палеострат–2019. Годичное собрание (научная конференция) секции палеонтологии МОИП. – М.: ПИН РАН, 2019. С. 8-9.
 22. *Алексеева, Т. В.* Первые находки палеопочв в верхнем девоне Стойленского карьера (Старый Оскол, Белгородская область) / Т. В. Алексеева, А. О. Алексеев // Пятая Всероссийская конференция «Верхний палеозой России». Казань 2019. – Тезисы докладов. С. 36–37.
 23. *Alekseeva, T.* The Late Visean pedocomplex of Moscow basin (Russia): mineralogical and geochemical characterization / T. Alekseeva, A. Alekseev, I. Vagapov // 8th Mid-European Clay Conference. Kosice, Slovakia, 4–8 July, 2016. Book of Abstracts. – P. 76.
 24. *Alekseeva, T.* The Mississippian palaeosol sequence from the southern part of Moscow sedimentary basin: mineralogy, geochemistry, palaeoenvironments / T. Alekseeva, A. Alekseev, P. Kalinin // XVI International Clay Conference (ICC 2017), Granada, Spain, 2017. Scientific research Abstracts. – Vol. 7. – P. 28.

Отпечатано в ОМТ ПИН РАН
Москва, Профсоюзная, 123
Объем 2 усл. п. л.
Тираж 100 экз.