УДК 551.735.1;631.48

# ПАЛЕОПОЧВЕННЫЙ КОМПЛЕКС В КРОВЛЕ МИХАЙЛОВСКОГО ГОРИЗОНТА (ВИЗЕЙСКИЙ ЯРУС НИЖНЕГО КАРБОНА) НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО КРЫЛА МОСКОВСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

© 2016 г. Т. В. Алексеева, А. О. Алексеев, С. В. Губин

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино e-mail: alekseeva@issp.serpukhov.su Поступила в редакцию 15.05.2015 г.

Принята к печати 21.05.2015 г.

В работе изучены отложения, слагающие несогласие на границе михайловского и веневского горизонтов в карьере Полотняный завод (Калужская область). Их детальное исследование показало, что в подошве черного "ризоидного" известняка сформирован педокомплекс из двух палеопочв (ПП) разного генезиса. Снизу вверх друг друга сменяют породы субаэрального (ПП1 типа рендзины), субаэрально-субаквального (ПП2 на мергеле луговом) и палюстринного генезиса. Обе ПП характеризует горизонтное строение профиля; наличие корневых систем, отпечатков растений и следов деятельности животных; наличие почвенных новообразований (микритовый кальцит с легким изотопным составом С, Fe–конкреции). Почвенные горизонты ПП характеризуются ростом величин ряда геохимических индексов (PWI, CIA, CIA-K) и отношений Ba/Sr, Rb/Sr, ростом концентрации Ga. Комплекс сформирован в условиях теплого полугумидного климата. По своему строению и масштабам распространения изученный объект близок Эверглэйдсам Флориды (США).

**DOI:** 10.7868/S0031031X16040024

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В ходе полевых работ 2012—2014 гг. на территории карьера Полотняный завод в верхах михайловского горизонта (визейский ярус нижнего карбона) нами был обнаружен педокомплекс, состоящий из двух палеопочв с принципиально различающимся генезисом. Разрез в карьере Полотняный завод располагается в 30 км к северо-востоку от г. Калуга (рис. 1,  $\delta$ ) и является одним из опорных разрезов визейского-серпуховского интервала для южной части Московской синеклизы (Махлина и др., 1993; Вевель и др., 2007).

Пелокомплекс является частью сложного несогласия на границе михайловского и веневского горизонтов. Данное несогласие с локальным названием "Холмское" (Kabanov et al., 2014) представляет собой важную стратиграфическую единицу визейского яруса Подмосковного осадочного бассейна. Уже начиная с 20-х гг. прошлого столетия, его верхняя часть, сложенная черным "ризоидным" известняком, широко латерально распространенным, со следами кратковременных осушений и размывов, используется как маркер. отбивающий верхнюю границу михайловского горизонта (Швецов, 1922, 1938; Осипова, Бельская, 1965; Бельская и др., 1975). Эти известняки – тип IV по М.С. Швецову (1938): микрозернистные, пронизанные корнями растений мангрового облика (ризоидами стигмарий). Для них характерно отсутствие остатков морской фауны. По мнению автора, они представляют собой хемогенные карбонатные осадки лагун (известковый ил отмелей), сформированные в условиях мелководного теплого платформенного моря. Данный уровень в литературе упоминается также как "поверхность Геккера-Швецова" (Махлина и др., 1993), "Акульшинский палюстринный комплекс" (АПК) (Каbanov et al., 2014). Я.А. Вевель и др. (2007) при изучении разреза в карьере Полотняный завод отнесли отложения на границе михайловскоговеневского горизонтов к элементу "d" циклотемы группы А, сформированному в условиях низко динамичного прибрежного мелководья. Эти авторы обращают внимание на то, что породы этого элемента циклотемы часто изменены процессами гидроморфного или субаэрального почвообразования. В основу данного вывода положены морфологические признаки отложений, такие как пестроцветность, комковатость, остатки корневых систем, обогащенность углефицированным растительным детритом.

Детальное полевое описание этого уровня для территории южной части Московской синеклизы можно найти в работах Н.Б. Гибшман и др. (Gibshman et al., 2009) и П.Б. Кабанова и др. (2012). Некоторые аналитические характеристики АПК из трех карьеров Подмосковного осадочного бассейна: Полотняный завод, Новогуровский и Малиновка даны в работе Т.В. Алексеевой и др. (Alekseeva et al., 2012) (уровень КНU на рис. 1, *a*). В



**Рис. 1.** Стратиграфическое положение изученного несогласия: *а* – изученные разрезы со стратиграфической привязкой (детальное стратиграфическое описание дано в: Kabanov et al., 2014); индексами отмечены основные несогласия: MLU – малиновское, KHU – холмское, BU – Барсуки, MU – муратовское, FU – форинское (см. Kabanov et al., 2014); *б* – местоположение разрезов на Геологической карте России (2005) со снятыми мезокайнозойскими отложениями.

карьере Полотняный завод АПК залегает несогласно на закарстованной поверхности известняка слоя 28 (Kabanov et al., 2014). Гибшман и др. (Gibshman et al., 2009) при описании разреза в карьере Новогуровский отметили, что в подошве черного "ризоидного" известняка карстовые карманы в кровле слоя 16 выполняет глина: рыхлая, пластичная, пятнистая зеленовато-серая, небольшой (до 10 см) мощности. Кабанов и др. (2012) высказали предположение о палеопочвенном происхождении данного слоя. Мы полагаем, что он представляет собой фрагменты палеопедокомплекса, обнаруженного нами в 2013 г. в карьере Полотняный завод.

Настоящая работа содержит результаты детального мультидисциплинарного исследования этого объекта, целью которого является попытка восстановить палеогеографическую обстановку, в том числе палеоэкологические условия почвообразования, включая этапы формирования осадка и его последующие преобразования, палеоклимат, растительный мир на обозначенной территории на рубеже михайловского— веневского этапа.

## ОБЪЕКТЫ

Объектами исследования являются отложения Холмского несогласия в карьерах Полотняный завод (ПЗ), Новогуровский (НГ), Малиновка (МА) и Змеинка (ЗМ), основу которого там представляет черный "ризоидный" известняк (АПК) (рис. 1, a,  $\delta$ ). В карьере ПЗ исследования сфокусированы на педокомплексе из двух палеопочв, обнаруженном в подошве АПК. В остальных трех карьерах дополнительно изучена ПП 1 педокомплекса, обнаруженная лишь в отдельных местах.

#### МЕТОДЫ

Обозначенные объекты были детально изучены с применением комплекса минералого-геохимических методов. Базовые почвенные характеристики: гранулометрический состав бескарбонатных образцов, содержание и свойства органического вешества, содержание карбонатов получены с использованием принятых в почвоведении методик (van Reeuwijk, 2002). Минеральный состав валовых образцов, илистой (<2 мкм) и крупной (>2 мкм) фракций был изучен методом рентгеновской дифрактометрии на дифрактометрах ДРОН-3 и Bruker–Phaser (CuK излучение, с шагом 0.1° и временем сканирования 10 с). Илистая фракция была получена методом отмучивания из остатка, нерастворимого в ацетатном буфере (уксусная кислота, забуференная уксусно-кислым Na с величиной pH 5.5) (van Reeuwijk, 2002). Рентгеновская диагностика глинистых минералов базировалась на результатах следующих тестов: Mg<sup>+2</sup> – форма в воздушно-сухом состоянии; Mg<sup>+2</sup> – форма насыщенная этиленгликолем в течение 24 часов; Мg<sup>+2</sup> – форма прокаленная до 350° С в течение 2 часов; Mg<sup>+2</sup> – форма прокаленная до 550°С в течение 2 часов; К<sup>+</sup> – форма в воздушно-сухом состоянии; К<sup>+</sup> – форма насыщенная этиленгликолем в течение 24 часов; Li – тест (прокаленный до 250°С в течение 24 часов с последующим насыщением этиленгликолем) (Thorez, 1976). Химический состав образцов изучен методом рентген-флюоресценции (SPECTROSCAN MAKC-GV). Полученную информацию использовали для оценки обстановок осадконакопления и интенсивности процессов выветривания/почвообразования (Retallack, 2001; Калинин и др., 2011; Alekseev et al., 2015). Дополнительно, изотопный состав углерода карбонатов и углерода органического вешества (ОВ) изучен методом масс-спектрометрии: микроморфологические особенности отложений - методами оптической и сканирующей электронной микроскопии с микроанализатором (TESCAN Vega 3). Структурные особенности захороненного OB изучены методом твердофазной ЯМР-спектроскопии на ядрах <sup>13</sup>С (Bruker Avance NMR 400 MHz).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

#### Полевые описания

Карьер Полотняный завод. Объект исследования привязан к слоям 28-30 (см. Kabanov et al., 2014), где слой 28 – известняк в подошве Холмского несогласия, слой 29 – педокомплекс, слой 30 – АРК (черный "ризоидный" известняк) (рис. 1, а; табл. І, фиг. 1, см. вклейку). Необходимо уточнить, что полевые работы в карьере проводились нами в течение трех сезонов (2012-2014 гг.), и морфологический облик педокомплекса, вскрытого на разных участках, существенно различался. Ниже приводится обобщенный его образ, состоящий из двух палеопочв (ПП). На настоящий момент нам представляется, что нижняя палеопочва (ПП 1), распространенная в пределах всех исследованных стенок этого карьера, представлена двумя типами. Верхняя палеопочва (ПП 2) развита лишь на отдельных участках, но ее строение относительно устойчиво выдержано в пространстве.

Палеопочва 1, тип 1 (разрез ПЗ I).

Слой 28 — известняк кремового цвета мощностью до 90 см. Кровля эродированная, волнистая, перепад высот достигает 20 см и более, не несет следов растворения, не имеет каверн, либо трубок растворения, местами брекчирована. Повсеместно в стенке карьера ниже кровли этого слоя встречаются Stigmaria ficoides в естественном, практически горизонтальном залегании (табл. I, фиг. 2). Горизонтально же залегают и слои, подстилающие известняк слоя 28. Стигмарии расположены на глубине около 20 см и могут достигать в длину 1 м и более.

Слой 29/1 — глинистый, вписан в рельеф размытой кровли известняка слоя 28. Глина плотная, пятнистая, от оливкового до темно-серого цвета, заполняющая "карманы" карста и связующая обломки брекчии. Мощность слоя 5–10 см.

Слой 29/2. Оливково-серая глина плавно переходит в маломощный (2–5 см) слой черной гли-

ны, местами массивной, местами структурированной, распадающейся на угловатые отдельности – агрегаты (табл. I, фиг. 3). Слой богат органическим детритом, включениями в виде палочек с диаметром от 1 до 8–10 мм, имеются отпечатки органов растений (табл. I, фиг. 5, 6). Местами мощность слоя снижается до тонкой "углистой" пленки. Верхняя граница слоя неровная, негоризонтальная, повторяет рельеф кровли слоя 28, т.е. ПП 1 накладывается на рельеф размытой кровли известняка слоя 28. Над ней выше формируется ПП 2, которую перекрывает АРК.

#### Палеопочва 1, тип 2 (разрезы ПЗ II и ПЗ III).

Слой 28 – известняк кремового цвета мощностью до 90 см. Его кровля неровная, бугристая, закарстована и преобразована. Материал верхней части слоя имеет сахаровидное строение и ниже постепенно переходит в плотный известняк. В верхней части брекчирован. Мощность преобразованного слоя 15-25 см и зависит от рельефа кровли. Под выраженными буграми кровли мощность преобразованного слоя известняка выше. Слой обладает пятнистой окраской: на кремовом фоне отчетливо проявляются более темные рыжевато-коричневые пятна уплотненного сложения (конкреции). Их встречаемость возрастает с глубиной. На границе с неизмененным известняком пятна формируют почти сплошной слой (табл. І, фиг. 4). Весь слой густо пронизан ходами мелких (3-4 мм) корней, по которым наблюдается ожелезнение. На глубине 30-60 см, в зависимости от рельефа кровли, горизонтально залегают стигмарии. Длина некоторых может достигать 1 м.

Слой 29 — черный глинистый. На бугристой кровле слоя 28 лежит слой черной структурированной глины мощностью 1—5 см, достигая максимума в углублениях кровли и, таким образом, выравнивая рельеф поверхности слоя 28. Слой 29 по внешнему виду напоминает описанный выше слой 29/2. В нем встречены углистый материал, отпечатки растений, мелкие палочки/трубочки, выполненные кальцитом. Кровля слоя 29 неровная, повторяет рельеф кровли слоя 28. Над ПП 1 залегает АПК — т.е., здесь из профиля несогласия выпадает верхняя ПП 2.

Таким образом, принципиальное отличие между двумя описанными профилями ПП 1 состоит в том, что для типа 2 характерно существенное преобразование материала кровли известняка слоя 28, на котором идет ее формирование, ее повышенная насыщенность корнями, меньшая мощность терригенной (глинистой) части профиля при более высокой мощности здесь углистого слоя (возможно, исходно гумусового горизонта).

#### Палеопочва 2.

Как уже указывалось выше, верхняя ПП 2 обнаружена фрагментарно, на отдельных участках. Ниже приводится описание профиля, развитого непосредственно над ПП 1 тип 1 (разрез I). Мощность профиля меняется в зависимости от рельефа кровли ПП 1. Она минимальна над ее поднятиями и максимальна над углублениями (табл. II, фиг. 1, 2, см. вклейку). Ниже приводится описание толщи снизу вверх.

Слой 29/3. Мергель плотный, твердый, светлосерый с коричневым оттенком. Распадается на угловатые отдельности. Мощность слоя выдержана в пределах 10-15 см. Слой густо пронизан образованиями, которые представляют собой корни либо стебли, собранные в пучки (табл. II, фиг. 3, 4). Участки мергеля в местах их скопления ожелезнены. Корни/стебли располагаются под разными углами: вертикально, горизонтально и наклонно, имеют диаметр до 5 мм, длину до 10 см, характеризуются хорошей сохранностью, имеют поперечные перегородки - мутовки, что позволяет предположить их принадлежность к членистостебельным растениям (табл. II, фиг. 3-5). Другие редко встречающиеся вегетативные органы предположительно отнесены нами к Annularia stellata (табл. II. фиг. 7). Слой содержит множественные микроскопические раковины моллюсков.

Слой 29/4. Мергель имеет более темную окраску, связанную с присутствием углистого растительного детрита. Мощность колеблется в пределах 10–18 см. Этот слой, как и 29/3, густо пронизан стеблями/корнями, собранными в пучки. Он венчается маломощным (1–2 см) темным, оглиненным, неоднородно окрашенным слоем. Местами он переходит в тонкий (до 0.5 см) углистый слой. Кровля неровная, бугристая.

В отдельных местах обнажения профиль ПП 2 различается по мощности и типу корневых систем. Например, к фрагментам членистостебельных растений часто присоединяются корневища стигмарий. Во множестве они располагаются вертикально и наклонно, часто пронизывают обе палеопочвы педокомплекса. Другой из обнаруженных тип корневых систем представлен достаточно редкими, одиночными корнями (табл. II, фиг. 6). Они имеют диаметр 3-5 мм, удлиненную форму, лишены боковых отростков; темного, практически черного цвета, ориентированы преимущественно вертикально, реже наклонно, и пронизывают профиль на всю его глубину. Ожелезнение материала корневых ходов и прилегающих к ним зон отсутствует. Педокомплекс перекрыт АПК.

Карьеры Новогуровский (НГ), Малиновка (МЛ) и Змеинка (ЗМ). Палеопочва. В карьере НГ объект исследования привязан к слоям 16–18, в карьере МЛ – к слоям 18–19, в карьере ЗМ – к слоям 24–25 (Кабанов и др., 2012; Каbanov et al., 2014). Кровля известняка в подошве АПК в разной степени закарстована. В карьере ЗМ сохранность первичной текстуры известняка ухудшается

Карьер	CaCO <sub>3</sub> , %	Содержание фракции <2 мкм, % С <sub>орг</sub> , %		δ <sup>13</sup> C, ‰ (PDB)				
ПП 1								
Полотняный завод (верхний горизонт трех профилей)	3.92-14.98	65.0-78.13	5.0-78.13 1.46-2.03					
Новогуровский	1.52	79.10	следы	не опр.				
Малиновский	6.70	80.48	следы	не опр.				
Змеинка	7.04	79.63	0.19	-12.15				
ΠΠ 2								
Полотняный завод								
Слой 29/4	94.13	4.30	0.49	-4.25				
Слой 29/3	93.64	1.30	0.28	-5.45				

m < 1	Г				1 0	
	Базовые ха	рактеристики	верхних часте	г прос	тилеи п	алеопочв
THOUTHING IT	Dusobbie ha	participiterinti	Deprimin factor	inpot	prister i	icale on o ib

вверх к кровле вследствие усиливающегося вадозного преобразования. Кровля его местами столбчатая из-за развития труб и щелей растворения, развиты черные пятна замещения. В карьерах НГ и МЛ карст внешне развит слабо – отсутствуют каверны, трубки, но поверхность известняка имеет ярко выраженный рельеф. Карстовые карманы в его кровле выполняет глина рыхлая, пластичная, пятнистая, зеленовато-серых тонов (слои 166 и 18б в карьерах НГ и МЛ и слой 25а в карьере ЗМ) (рис. 2, г). В зависимости от рельефа кровли, мощность этого слоя варьирует от 1 до 10 см. Предположительно, он представляет собой фрагменты палеопочвы, соответствующей ПП 1 педокомплекса, обнаруженного в карьере ПЗ. Перекрывает глину черный "ризоидный" известняк — АПК (слои 17 и 19 в карьерах НГ и МЛ, и слои 25в и 25с в карьере ЗМ).

#### Акульшинский палюстринный комплекс в карьерах ПЗ, НГ, МЛ и ЗМ

Обобщая полевые морфологические описания четырех изученных АПК, его основные характеристики можно представить следующим образом. Черный "ризоидный" неморской известняк (мергель) стратиграфически несогласно, плащеобразно залегает на древней дневной поверхности. Неровная его подошва повторяет древний рельеф. Рельеф определяет мощность АПК, которая колеблется от первых см до 1.3 м, наиболее характерна мощность 60-80 см. Кровля АПК горизонтальная, согласная с вышележащим известняком веневской свиты. Слой имеет множественные внутренние седиментационные несогласия в виде горизонтально выдержанных зон, различающихся по мощности, цвету и твердости. В карьере ПЗ эти зоны разделяют тонкие углистые прослои. Самый нижний слой, как правило, светло-серый, относительно мягкий, мучнистый известняк, пронизан корнями, содержит включения обломков мелких раковин. В карьере ПЗ здесь встречены Stigmaria ficoides в естественном залегании. Выше он переходит в черный, крепкий, колкий известняк. Характерными особенностями АПК являются обедненность морской фауной и густая сеть разнонаправленных ризоидов с преимущественно вертикальной ориентацией, которые пронизывают всю толщу, включая подошву. В кровле частота встречаемости корней возрастает. По корневым ходам развито ожелезнение. Материал насыщен мелким органическим детритом. В кровле черного известняка залегает плитчатый мергель, более оглиненный на контакте с ним. Мошность этого слоя 1–10 см, будучи минимальной в карьере ЗМ и максимальной в карьере ПЗ (рис. 2).

#### Базовые аналитические характеристики Холмского несогласия

Педокомплекс в карьере ПЗ. Несмотря на видимые морфологические различия двух типов ПП 1 из карьера ПЗ, их аналитические характеристики схожи. Черная глина слоя 29/2 (ПП 1 тип 1) и 29 (ПП 1 тип 2) слабокарбонатна, содержание кальцита в ней находится в пределах 4-15% (табл. 1). В гранулометрическом составе доминируют фракции ила, которая составляет 54-65%, и пыли - около 35%. Содержание С<sub>орг</sub> – 1.12–2.03%. В этом слое во множестве встречены макроскопические объекты биологического происхожления в виде монолитных карбонатных палочек, по-видимому, представляющие собой экскременты насекомых либо их заполненные ходы – норы (табл. I, фиг. 5), а также корневые трубочки и отпечатки вегетативных органов очень хорошей сохранности (табл. I, фиг. 6). Местами в слое присутствуют стигмарии, еще чаще их ожелезненные аппендиксы. Элек-



Рис. 2. Холмское несогласие: *a*−*в* – карьер Полотняный завод: *a* – общий вид несогласия; *б* – деталь строения черного "ризоидного" известняка; *в* – валун ("а") в толще слоя черного "ризоидного" известняка; *е*, *∂* – карьер Новогуровский: *г* – общий вид несогласия с фрагментами ПП 1 в подошве ("а"); *∂* – деталь строения черного "ризоидного" известняка; *е* – карьер Мовогуровский: *е* – карьер Малиновка, общий вид несогласия; *ж* – карьере Змеинка, общий вид несогласия.



**Рис. 3.** <sup>13</sup>С ЯМР спектры органического вещества в составе илистой фракции: *а* – карьер Полотняный завод, кровля ПП 1; *б* – карьер Полотняный завод, кровля ПП 2; *в* – карьер Полотняный завод, слоистый мергель из кровли АПК; *е* – карьер Новогуровский, слоистый мергель из кровли АПК. Положение полос на спектрах (химический сдвиг) дано относительно тетраметилсилана.

тронно-микроскопическое изучение материала этого горизонта подтвердило его высокую биогенность. Во множестве присутствуют биологические объекты в форме палочек диаметром 150– 300 мкм, фрагменты растительных тканей с характерным сосудистым строением. Сохранность всех микрообъектов плохая.

Исследование органического вещества (OB) илистой фракции, выделенной из этого горизонта, методом <sup>13</sup>С ЯМР спектроскопии показало, что оно имеет алифатическую природу: степень ароматичности составляет 33 %, преобладает углерод алкилов (рис. 3, a).

Вышележащая ПП 2 имеет принципиально иные характеристики. Она высококарбонатна. Содержание кальцита находится в пределах 63— 94%. Содержание тонкодисперсной фракции составляет от 1 до 11%. Верхняя часть профиля оглинена. Содержание  $C_{opr} - 0.28 - 0.49\%$ , с максимумом в верхнем горизонте (табл. 1). При этом тонкодисперсная фракция (<2 мкм), выделенная из него, заметно обогащена OB: содержание С<sub>орг</sub> в ней достигает 5.70%. Как отмечалось выше, данная ПП формировалась при участии иного типа растительности, чем ПП 1. Здесь были обнаружены корни двух типов, не характерные для плауновидных. Оба характеризуются хорошей сохранностью (табл. II, фиг. 5, 6).

Данные <sup>13</sup>С ЯМР спектроскопии  $C_{opr}$  верхнего почвенного горизонта ПП 2 показали, что в составе ОВ преобладают ароматические структуры (степень ароматичности составляет 55%), что принципиально отличает данную почву от ПП 1 и АПК, где в составе ОВ доминируют алкилы (рис. 3,  $\delta$ ).

Палеопочва в карьерах НГ, МЛ и ЗМ. Как уже отмечалось выше, карстовые карманы в кровле известняка, над которым сформирован АПК, выполняет глина рыхлая, пластичная, пятнистая, зеленовато-серых тонов. Мощность слоя составляет от 1 до 10 см. Мы полагаем, что он аналогичен слою 29/2 в карьере ПЗ, т.е. представляет собой фрагменты палеопочвы, соответствующей описанной ПП 1 в карьере ПЗ. Как следует из данных табл. 1, эта глина по своим базовым характеристикам аналогична материалу ПП 1 из карьера ПЗ: она имеет тяжелый гранулометрический состав (79–80% физической глины), слабокарбонатная. Карбонаты представлены кальцитом. Данные изотопного состава С карбонатов из карьера ЗМ свидетельствуют, что они имеют облегченный изотопный состав, т.е. являются педогенными (рис. 5). Содержание ОВ здесь на грани обнаружения. Можно предположить, что верхняя гумусированная часть профиля этой ПП не сохранилась ни в одном из этих трех карьеров.

Акульшинский палюстринный комплекс. Черный "ризоидный" известняк в четырех изученных карьерах в разной степени окарбоначен. В карьере ПЗ содержание карбонатов в отдельных морфологически различимых зонах колеблется в незначительных пределах (95–99%). Карбонаты представлены кальцитом. Содержание тонкодисперсной фракции в подошве составляет 1.8%, к кровле оно постепенно возрастает до 6.7%. Содержание Соорг в материале осветленной подошвы и кровли АПК составляет 0.3-0.4%, в черном оскольчатом известняке оно возрастает до 0.7%. Илистая фракция заметно обогащена Сорг – до 2.5-3%. Остаток после удаления карбонатов и отделения тонкодисперсной фракции содержит во множестве мелкий углефицированный органический детрит. Его наличие, по-видимому, обусловливает характерный цвет этой известковой породы: от темно-серой до черной. Специфической чертой материала рассматриваемого АПК является его ризоидность. Полости, принадлежащие корневым системам (ризоидам), пронизывают породу, как правило, на всю глубину, а в карьере ПЗ проникают и в нижележащую палеопочву. Электронно-микроскопическое исследование показало наличие здесь редких окарбоначенных растительных фрагментов очень плохой сохранности. Данные <sup>13</sup>С ЯМР спектроскопии Сорг илистой фракции показали, что в структуре ОВ преобладает С алкилов (алифатический углерод), а степень ароматичности находится в пределах 35-42% (рис. 3, в, г).

Дополнительно  $C_{opr}$  илистых фракций органогенных горизонтов обеих палеопочв педокомплекса и АПК из карьера ПЗ был изучен методом масс-спектрометрии с целью изучения его изотопного состава. Полученные значения  $\delta^{13}$ С органического вещества составили –21.72‰ для ПП 1, -21.31‰ для ПП 2 и –24.44‰ для АПК. Все эти значения характерны для растений с СЗ типом фотосинтеза (Peters-Kottig et al., 2006). Полученные значения близки изотопному составу углей из отложений позднего палеозоя (от –21.45 до –25.8‰) (Auras et al., 2006; Peters-Kottig et al., 2006).

Изотопный состав С<sub>орг</sub> изученных палеопочв несколько утяжелен относительно С<sub>орг</sub> АПК. Принадлежность ОВ к разным типам растительности, с участием которой формировались эти объекты, была показана выше. Согласно А. Аурас и др. (Auras et al., 2006), изотопный состав С в области -24 и -25% отвечает семенным папоротникам, членистостебельным и Lepidodendrales. Значения -21.72% <br/> $< \delta$  <sup>13</sup>C < -21.31% по данным этих авторов отвечают Cordaites. На настоящий момент мы не располагаем палеоботаническими находками, способными подтвердить или опровергнуть эти выводы.

#### Минеральный состав отложений, слагающих Холмское несогласие

Педокомплекс в карьере ПЗ. Валовые образцы нижнего горизонта ПП 1 (слой 29/1) сложены преимущественно кальцитом с незначительной примесью смектита. В верхнем органогенном горизонте (слой 29/2) доминирует смектит, помимо которого присутствуют каолинит и, в следовых количествах, кальцит (рис. 4, a,  $\delta$ ). Крупная фракция этого горизонта содержит каолинит, кварц и заметно обогащена гетитом. Илистая фракция обоих горизонтов в качестве основной фазы содержит диоктаэдрический смектит. Оба горизонта содержат каолинит. Нижний горизонт дополнительно содержит микритовый кальцит, а верхний горизонт - гетит. Наблюдается заметный рост содержания каолинита в кровле. В минеральном составе терригенной части профиля ПП 1 тип 2 заметно выше содержание кварца, в остальном ее минеральный состав идентичен ПП 1 тип 1 (рис. 4, e, r).

Реакция решетки смектита из нижнего слоя (29/1) на стандартные тесты приведена на рис. 3, *д*. По результатам Li-теста эту фазу следует отнести к диоктаэдрическому смектиту с преимущественным тетраэдрическим зарядом решетки — бейделлиту. Однако, результаты остальных тестов отвечают низкозарядному монтмориллониту типа "Вайоминг" с чертами, присущими "почвенно-

**Рис. 4.** Минеральный состав отложений Холмского несогласия в карьере Полотняный завод (данные рентгеновской дифрактометрии): a – разрез ПЗ-I, валовые образцы;  $\delta$  – разрез ПЗ-III, валовые образцы; e – разрез ПЗ-I, илистая фракция ПП 1 (слои 29/1 и 29/2) и ПП 2 (слои 29/3 и 29/4), образцы насыщены Mg<sup>2+</sup>, воздушно-сухие; e – разрез ПЗ-III, илистая фракция ПП 1 (слои 29/1 и 29/2) и АПК (слои 30/1–30/4), образцы насыщены Mg<sup>2+</sup>, воздушно-сухие; d – разрез ПЗ-III, илистая фракция ПП 1 (слой 29/1 и 29/2) и АПК (слои 30/1–30/4), образцы насыщены Mg<sup>2+</sup>, воздушно-сухие; d – разрез ПЗ-III, илистая фракция АПК (слой 30/4), тесты; e – разрез ПЗ-III, илистая фракция АПК (слой 30/4), тесты: Q – кварц; С – кальцит; G – гетит; M – слюда. Положение рефлексов на рис. 3, d и 3, e дано в Å. Стратиграфическая привязка слоев дана на рис. 1, a.



ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ № 4 2016

му" монтмориллониту (Thorez, 1976; Wilson, 1987). Вместе с тем известно, что монтмориллонит типа "Вайоминг" с низким суммарным зарядом решетки также демонстрирует набухание в ответ на Li-тест (Thorez, 1976). Смектит из верхнего горизонта ПП 1 отличается несколько более высоким суммарным зарядом решетки и наличием других дефектов структуры (таких, например, как разупорядоченность), что свидетельствует о его преобразованиях в условиях почвообразования.

Результаты изучения химического состава этой смектитовой глины показали, что содержание здесь  $Al_2O_3$  находится в пределах 20–24%, содержание MgO в пределах 1.00-1.45%, содержание  $Fe_2O_3$  в пределах 4.04—9.52%. Таким образом, содержание MgO здесь несколько ниже, а  $Fe_2O_3$ заметно выше, чем в бентоните "Вайоминг" (Mermut, Cano, 2001). Fe-природа почвенных смектитов подчеркивается многими исследователями, которые идентифицируют их как Fe - бейделлиты (Wilson, 1987). Окисленное Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> октаэдрической координации структуры смектита является, по-видимому, источником гетита, присутствие которого в составе илистых фракций отмечено выше. Об окисленной обстановке накопления глины отчасти свидетельствует и ее цвет (желтозеленый), и неоднородность окраски (пятнистость).

Минеральный состав валовых образцов ПП 2, сформированных на мергеле луговом (гаже) на 100% кальцитовый (рис. 4, *a*). В составе крупной фракции ПП 2, помимо кальцита, в незначительном количестве присутствует кварц. Илистая фракция нижнего горизонта (слой 29/3) обогащена каолинитом. В заметном количестве здесь содержится микритовый кальцит (рис. 4, в). Дополнительно в качестве примеси присутствуют смектит и гетит. Илистая фракция верхнего горизонта ПП 2 (слой 29/4) бескарбонатна. Здесь отмечается уменьшение содержания каолинита и, напротив. несколько увеличивается доля смектита и гетита. Смектит по своим рентгенографическим характеристикам идентичен фазе, присутствующей в ПП 1, слой 29/2.

Палеопочва в карьерах НГ, МЛ, ЗМ. В карьерах НГ, МЛ, ЗМ тяжелая глина в подошве АПК, рассматриваемая нами как фрагменты эродированной ПП 1, имеет минеральный состав близкий составу ПП 1 в карьере ПЗ. В карьерах НГ и ЗМ она на 100% сложена диоктаэдрическим смектитом, который по своим рентгенографическим характеристикам аналогичен смектиту из слоя 29/1 ПЗ. Фракция >2 мкм этого уровня в карьере ЗМ в заметном количестве содержит кварц. В карьере МЛ илистая фракция глины дополнительно к смектиту в качестве незначительной примеси содержит каолинит и в заметном количестве гетит. Фракция >2 мкм также содержит гетит и кварц. Смектитовая фаза по своим характеристикам аналогична фазе из ПП 1 (слой 29/1) в карьере ПЗ.

Акульшинский палюстринный комплекс. Минеральный состав АПК во всех четырех карьерах близок. Валовые образцы практически на 100 % состоят из кальцита. В качестве незначительной примеси в них содержится кварц (рис. 4, б). В минеральном составе крупной фракции (>2 мкм) в большинстве слоев АПК преобладает кальцит, вместе с тем слои, различающиеся морфологически и химически (например, по величине отношений Ti/Al, CIA-K) (табл. 2), несколько разнятся по минеральному составу, в первую очередь, по содержанию кварца. Данный факт говорит о сложной истории формирования отложений АПК. многоэтапности и смене источника поступления материала. На рис. 2, в, например, в хемогенном карбонатном материале черного "ризоидного" слоя обнаружен в качестве включения крупных размеров валун известняка ("а"), что может быть объяснено большой силой переносившего его потока. В некоторых образцах в качестве незначительной примеси появляется каолинит. Заметно разнится по составу крупной фракции материал кровли черного "ризоидного" известняка – плитчатого мергеля. Здесь доминирует кварц, присутствуют слюда и каолинит, т.е. кровля АПК формировалась при существенном влиянии терригенного материала.

Илистая фракция черной "ризоидной" части АПК сложена микритовым кальцитом, смектитом и каолинитом в разных соотношениях (рис. 4, г). Выделяются слои, обогащенные тем или иным компонентом. Илистая фракция терригенной кровли бескарбонатна. Здесь, помимо смектита и каолинита, содержатся тонкодиспесный кварц и слюда. Смектит АПК отличается от смектита педокомплекса из материала его подошвы. В карьерах НГ и МЛ он представлен триоктаэдрическим Mg – смектитом (сапонитом) с величиной d<sub>(060)</sub> =1.520 Å, а в карьерах ПЗ и ЗМ – диоктаэдрическим смектитом – бейделлитом с величиной d<sub>(060)</sub> =1.496 Å (рис. 4, *e*). Мы рассматриваем оба эти минерала как аутигенные. В карьере МЛ в кровле АПК методом рентгеновской дифрактометрии обнаружено присутствие лепидокрокита у-FeO(OH), что свидетельствует о колебании окислительно-восстановительных условий, способствующих подвижности железа (Алексеев, Алексеева, 2010).

#### Геохимическая характеристика Холмского несогласия в карьере ПЗ

Некоторые результаты, основанные на химическом составе отложений Холмского несогласия в разрезе ПЗ, приведены в табл. 2. Для описания

Слой	Ti/Al	PWI	CIA-K	CIA	Ba/Sr	Rb/Sr	Ga, ×10 <sup>-3</sup> , %
Разрез ПЗ-І							
АПК 30/1	0.28	4 32	7 48	0.003	0	0	0.2
лп 2	0.20	1.32	7.10	0.005	0	0	0.2
29/4	0.12	3.59	23.61	0.008	0	0	0.3
29/3	0.24	2.93	12.94	0.003	0	0	0.3
ПП 1 29/2	0.06	18.55	56.72	0.710	0.52	0.160	2.5
29/1	0.06	16.16	15.32	0.030	0	0	0.6
	•	•	Разрез	П3-ІІ			
ПП 1 29/2	0.05	9.65	74.42	0.790	0.80	0.150	2.3
29/1	0.10	1.91	50.69	0.010	0	0.010	0.4
		I	Разрез	ПЗ-III			
АПК							
30/4	0.17	3.50	20.91	0.006	0.07	0.017	0.3
30/3	0.14	2.67	29.90	0.007	0.01	0.015	0.3
30/2	0.11	2.37	37.25	0.009	0	0.002	0.3
30/1	0.31	2.31	14.03	0.002	0	0	0.3
ПП 1							
29/2	0.06	9.61	74.95	1.00	1.14	0.260	2.8
29/1	0.22	1.97	21.66	0.004	0	0.012	0.3

Таблица 2. Геохимические индексы выветривания для изученных объектов в карьере Полотняный завод

почвенных процессов и для оценки степени преобразованности материала под воздействием выветривания и почвообразования используются различные отношения химических элементов (так называемые геохимические индексы) (Retallack, 2001; Sheldon, Tabor, 2009; Калинин, Алексеев, 2011). Например, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> описывает степень засоленности почв, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> – оглинивание, и другие. Результаты проведенных ранее исследований геохимических особенностей высококарбонатных палеопочвенных систем нижнего карбона (Alekseev et al., 2015) показали, что для них, в отличие от терригенных пород, применимой оказалась очень ограниченная группа геохимических индексов. Среди них можно выделить "PWI" – индекс палеовыветривания, рассчитываемый по формуле  $PWI = 100 \times (4.20 \times Na + 1.66 \times Mg +$  $+5.54 \times K + 2.05 \times Ca$ ) (Gallagher, Sheldon, 2013); "CIA" – химический индекс преобразованности, рассчитываемый по формуле CIA = [Al/(Al + + Na + Mg + Ca + K]  $\times 100$  (Nesbitt, Young, 1982), "CIA-K" – химический индекс преобразованности без учета эффекта от биологического круговорота калия, рассчитываемый как (CIA-K) =  $[Al/(Al + Na + Mg + Ca)] \times 100)$ . Bo BCEX dopMyлах используется содержание СаО за вычетом кальцита.

М.Х. Махлина и др. (1993) использовали величины отношения Sr/Ba и содержание Ga для оценки опресненности бассейна седиментации и влияния суши (осушки). Дж. Реталлак (Retallack, 2001) и Н. Шелдон и Н. Табор (Sheldon, Tabor, 2009) используют отношение Ba/Sr для оценки интенсивности выноса химических элементов. Величина данного отношения, превышающая 2, по данным этих авторов, отвечает кислым (выщелоченным) обстановкам.

Результаты, представленные в табл. 2, показывают, что индексы "PWI", "CIA-K" и "CIA" наилучшим образом расчленяют отложения данного несогласия на морфологически и аналитически обозначенные составляющие: АПК, ПП 2 и ПП 1. Максимальные значения этих индексов характерны для ПП 1, минимальные – для АПК. Для всех составляющих несогласия имеет место нарастание величин этих индексов вверх по разрезу. Максимальный прирост значений индексов по профилю отмечается для ПП 1 тип 2 (разрезы II и III), где он увеличивается в 3-5 раз. Для остальных составляющих несогласия этот прирост составляет 2–3 раза. Важно подчеркнуть, что величины этих трех индексов для отдельных подзон АПК (см. табл. 2, разрез III) подчеркивают морфологически выраженную слоистость АПК и подтвержда-



**Рис. 5.** Изотопный состав С карбонатов отложений Холмского несогласия в карьере Полотняный завод: I – разрез ПЗ-I; III – разрез ПЗ-III.

ют гипотезу о периодической субаэральной экспозиции стадийно формирующих их осадков.

Верхний горизонт двух профилей ПП 1 тип 2 демонстрирует максимальные значения отношения Ba/Sr – 0.80–1.14 (табл. 2). Они наряду со значениями вышеописанных индексов свидетельствуют, что степень преобразованности материала данного горизонта максимальна. Поведение отношений Ba/Sr и Rb/Sr подтверждает сделанный ранее вывод об их применимости в первую очередь к терригенным породам (Alekseev et al., 2015). Содержание в изученных образцах Ga находится в пределах 0.2–2.8  $*10^{-3}$ %, будучи максимальным в слое 29/2 (верхняя часть профиля ПП 1), что также подтверждает его субаэральную природу.

#### Изотопный состав карбонатов разреза в карьере ПЗ

Все изученные объекты в той или иной степени карбонатны. Изотопный состав С карбонатов является одним из наиболее достоверных пара-

метров, позволяющих отличить карбонаты педогенные от тех, которые были сформированы в морских бассейнах (Hoefs, 2009). На изотопный состав С почвенных карбонатов оказывают влияние многие факторы: изотопный состав почвенной СО<sub>2</sub>, зависящей от типа растительности (растения с СЗ, С4 или САМ типом фотосинтеза), других свойств растительного покрова и его опада, влияющих на величину почвенного дыхания, количество атмосферной СО2, проникающее в почву и др. (Alonzo-Zarza, 2003). Результаты проведенного нами исследования для карьера ПЗ даны на рис. 5. Полученные значения изменяются в пределах: -6. 28% <  $\delta^{13}$  C < -1.41% PDB. Максимальное значение  $\delta^{13}$  С характерно для карбонатов плитчатого мергеля в кровле АПК, которое отвечает изотопному составу С карбонатов морских бассейнов. Остальные полученные значения "облегчены" относительно морских карбонатов. Изотопный состав С карбонатов черного "ризоидного" известняка находится в пределах : - $4.34\% < \delta^{13}$  C < -2.19‰, что типично для палюстринных карбонатов (Alonzo-Zarza, 2003; Alçiçek, Alçiçek, 2014). Изотопный состав карбонатов палеопочв в подошве АПК еще более облегчен (-6.28‰ <  $\delta^{13}$  C < -4.55‰) и характерен для почвенных карбонатов, несмотря на возможное его "разбавление" тяжелым изотопом морских карбонатов и утяжеление под воздействием диагенетических преобразований осадка (напр., Stevenson et al., 2005; Alçiçek, Alçiçek, 2014). Изучение изотопного состава микритового кальшита в составе илистых фракций обеих палеопочв и черного "ризоидного" известняка показало, что он еще более облегчен и имеет характерные для почвенных карбонатов значения, достигающие  $\delta^{13}$  C -10% (PDB).

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Совокупность полученных нами данных позволила предложить модель формирования Холмского несогласия, упрощенная схема которого приведена на рис. 6. Необходимо добавить, что в полном объеме она реализована только в отложениях карьера ПЗ. В остальных изученных карьерах этапы III, IV и V выпадают. На различия в строении разрезов нижнего карбона в разных частях Московской синеклизы, которые вызваны различием палеогеографических условий, ранее указывалось Ю.В. Мосейчик (2009).

Полученные результаты позволяют полагать, что субаквальный этап I, когда мягкий известковый субстрат слоя 28 был заселен мангровым типом растительности (лепидодендроновые), сменяется этапом незначительного поднятия, сопровождавшимся размывом территории в условиях высоко динамической обстановки (этап II). Эта



**Рис. 6.** Схема формирования отложений Холмского несогласия на примере отложений в карьере Полотняный завод. Обозначения: 1 – известняк; 2 – глина; 3 – мергель болотный; 4 – палюстринный комплекс; 5 – стигмария; 6 – ризоиды/корни; 7 – Fe-конкреции; 8 – брекчированная поверхность известняка; 9 – карст; 10 – поверхность субаэральной экспозиции без признаков почвообразования; 11 – поверхность палеопочвы; 12 – мангровая растительность; 13 – прослои углей; 14 – номер слоя; 15 – этап формирования несогласия. Схема дана не в масштабе.

ситуация затронула всю изученную в настоящей работе территорию (расстояние между крайними точками исследования составляет около 200 км). Результатом ее стало формирование выраженного рельефа кровли слоя 28. Вероятнее всего, имела место субаэральная экспозиция всей территории, которая, вместе с тем, не сопровождалась заметным преобразованием материала верхней части известковой толщи слоя 28, т.е. была сравнительно кратковременной. Понижения в рельефе ("карманы") заилились монтмориллонитовой (бентонитовой) глиной слоя 29/1, на которой началось формирование ПП1 тип I (слой 29/2). В условиях достаточно хорошо выраженного рельефа дневной поверхности сформировался неоднородный почвенный покров (этап III): в понижениях формируются рендзины (ПП1 тип 1), а на возвышенных участках – почва типа регосоль– камбисоль (ПП1 тип 2). В обоих случаях ПП1 – это нейтрально-щелочная субаэральная высогу-

мусная (до 2% Сорг) почва, сформированная при активном участии хорошо развитой биоты, имеющей как растительное, так и животное происхождение (табл. І, фиг. 5, 6). Ни на морфологическом, ни на субмикроскопическом уровнях она не несет признаков гидроморфизма: например, не обнаружен пирит, сидерит либо другие характерные для таких обстановок минералы. Концентрация Ga в верхнем горизонте ПП 1 достигает 2.3–2.8 \*10<sup>-3</sup>%, что в 6-10 раз больше, по сравнению с вышелеозерно-болотными жашими отложениями (табл. 2). Махлина и др. (1993) объясняют концентрирование Ga осушкой территории. Накопление таких продуктов выветривания, как каолинит и гетит (рис. 4, в, г), отвечают субтропическому типу климата.

После прохождения этого этапа началось постепенное, многоступенчатое опускание территории и ее затопление пресными водами. На этапе IV затопление территории коснулось преимущественно понижений рельефа, в то время как почва возвышений (ПП1 тип 2) продолжила свое развитие в автоморфном режиме. Как следствие, она характеризуется более высокими значениями некоторых геохимических индексов, таких как СІА-К, CIA и Ba/Sr (табл. 2). Морфологически для нее характерно специфическое глубокое преобразование материала кровли известняка слоя 28: сахаровидный облик, бурая пятнистость и др. Параллельно, в понижениях рельефа илет накопление гажи – болотного пресноводного мергеля (ПП 2 – слои 29/3 и 29/4) (рис. 6) с заселением их разнообразной мелкой растительностью и редкими деревьями мангрового типа (лепидодедроновые).

На этапе V слой 29/4 выходит на поверхность, незначительно оглинивается и химически преобразуется (табл. 2). В частности, на фоне разрушающего каолинита возрастает доля гетита (рис. 4, в, г). Характерное для ПП 2 локальное развитие глеевых процессов свидетельствует о периодическом колебании уровня воды (субаэрально-субаквальная почва). На восстановительные условия, в которых шло развитие территории на этом этапе, указывают, в частности, морфологические особенности корневых систем – их почти черный цвет (табл. II, фиг. 1, 6). Параллельно идет денудация мягкого материала мергеля, что привело к формированию бугристости дневной поверхности и, возможно, объясняет локальное распространение ПП2.

На этапе VI вся рассматриваемая территория ушла под воду, и началось многоступенчатое формирование пресноводного черного "ризоидного" известняка — Акульшинского палюстринового комплекса (слой 30). Практическое отсутствие в его вещественном составе терригенного материала свидетельствует об аутигенной природе материала этого слоя. Подошва слоя 30 повторяет форму бугристой поверхности слоя 29, а далее, отлагаясь на дне мелкого пресноводного водоема, прослои карбонатного ила уже принимают горизонтальное залегание. Описанные выше различия подслоев: морфологические, минералогические, геохимические, а также прослои углей говорят о периодических перерывах в осадконакоплении, сопровождавшихся несущественным синлитогенным выветриванием/почвообразованием в субаэральных обстановках. Включения пород (напр., рис. 2, *в*) указывают на наличие динамичных процессов, участвовавших в перемещении и физической обработке поверхностей крупных фрагментов известняка в условиях мелководья.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несогласие на границе михайловского-веневского горизонтов на территории карьера ПЗ состоит из педокомплекса в его нижней части, который включает две ПП с принципиально различающимся генезисом. Педокомплекс перекрыт толщей пресноводного известняка, имеющего палюстринное происхождение. Снизу и сверху несогласие заключено в пачки морского известняка. Компоненты этого "сэндвича" могут быть сравнимы с отдельными элементами современного ландшафта маршевого типа, например, Национального Парка "Эверглэйдс" (Everglades), штат Флорида (США) (Platt, Wright, 1992). Важно подчеркнуть, что и по масштабам распространения, и по климатическим особенностям (теплый полугумидный климат) изученный объект близок Эверглэйдсам Флориды. В отложениях изученного несогласия в карьере ПЗ последовательно сменяют друг друга породы субаэрального (ПП1 типа рендзины), субаэрально-субаквального (ПП2 на гаже) и болотно-озерного происхождения. Такая последовательность указывает на медленное погружение территории на рубеже михайловского-веневского этапа. Неясным на настоящий момент остается вопрос об источнике пресной воды - необходимом компоненте подобного ландшафта.

Обобщая свойства палеопочв педокомплекса, в качестве ведущих диагностических признаков, позволяющих исследуемые объекты отнести к эпигенным палеопочвам (почвам, развивающимся в постоянном объеме минерального материала), могут быть выделены следующие: наличие достаточно четко оформленных и выделяемых в стенках обнажений почвенных профилей с признаками дифференциации их материала на генетические горизонты; присутствие в верхних частях профилей морфологических признаков обогащения их дисперсным растительным материалом (углефицированным детритом или другим органическим материалом), что позволяет предположить формирование в исследованных почвах органо-аккумулятивных горизонтов; присутствие и участие в формировании профилей биоты (наличие корневых систем, отпечатков и остатков вегетативных органов растений, следов жизнедеятельности животных); перераспределение, включая латеральное, и накопление продуктов почвообразования и выветривания с образованием зон их локализации и концентрации (новообразования микритового кальцита с облегченным изотопным составом С, концентрирование Fe в виде пятен, рыхлых конкреций, выделение оксидов по корневым ходам и т.п.).

Дифференциация материала профилей палеопочв с образованием генетических горизонтов подтверждается аналитическими методами. Для органо-аккумулятивной части профилей как наиболее глубоко проработанной почвообразовательными процессами, это отражено в увеличении валового содержания С<sub>орг</sub>, изотопном составе углерода карбонатов, оглинивании ее материала, обогащении продуктами выветривания в виде каолинита и Fe – оксидов (гетита, лепидокрокита). Отражено это и в росте величин геохимических индексов (PWI, CIA, CIA-K) и отношений Ba/Sr, Rb/Sr, увеличении концентрации Ga.

\* \* \*

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 08-04-01552 и 12-04-00387 и Программы Президиума РАН "Эволюция органического мира и планетарных процессов". Авторы благодарны П.Б. Кабанову за помощь в сборе полевого материала и сотрудникам Химико-аналитического комплекса ИФХиБПП РАН (Пущино), где были получены базовые характеристики изученных объектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев А.О., Алексеева Т.В. О формировании лепидокрокита в почвах // Почвоведение. 2000. № 10. С. 1203–1210.

Бельская Т.Н., Иванова Е.А., Ильховский Р.А. и др. Путеводитель экскурсии по разрезам карбона Подмосковного бассейна. М.: Наука, 1975. 176 с.

Вевель Я.А., Шишлов С.Б., Журавлев А.Б. Фации и биостратиграфия визейско-серпуховских отложений в разрезе Полотняный завод (юго-запад Московской синеклизы) // Верхний палеозой России: стратиграфия и палеогеография. Казань: Казанский гос. ун-т, 2007. С. 51–54.

Кабанов П.Б., Алексеева Т.В., Алексеев А.О. Серпуховский ярус карбона в типовой местности: седиментология, минералогия, геохимия, сопоставление разрезов // Стратигр. Геол. корреляция. 2012. Т. 20. № 1. С. 18–48.

Калинин П.И., Алексеев А.О. Геохимическая характеристика лёссово-почвенных комплексов Терско-Кумской равнины и Азово-Кубанской низменности // Почвоведение. 2011. № 12. С. 1436–1453. *Махлина М.Х., Вдовенко М.В., Алексеев А.С. и др.* Нижний карбон Московской синеклизы и Воронежской антеклизы. М.: Наука, 1993. 221 с.

*Мосейчик Ю.В.* Раннекаменноугольная флора Подмосковного бассейна. Т. І. Состав, экология, эволюция, фитогеографические связи и стратиграфическое значение. М.: ГЕОС, 2009. 187 с.

*Осипова А.И., Бельская Т.Н.* О веневском горизонте южного крыла Подмосковного бассейна // Изв. высш. учеб. завед. Геол. и разведка. 1965. № 11. С. 33–44.

Швецов М.С. К вопросу о стратиграфии нижнекаменноугольных отложений южного крыла Подмосковного бассейна // Вестн. Моск. Горн. Акад. 1922. Т. 1. № 2. С. 223–242.

Швецов М.С. История Московского каменноугольного бассейна в динантскую эпоху // Тр. МГРИ. 1938. Т. 12. С. 3–107.

*Alçiçek H., Alçiçek M.C.* Palustrine carbonates and pedogenic calcretes in the Çal basin of SW Anatolia: Implications for the Plio-Pleistocene regional climatic pattern in the eastern Mediterranean // Catena. 2014. V. 112. P. 48–55.

*Alekseev A.O., Kabanov P.B., Alekseeva T.V. et al.* Iron, magnetic susceptibility, and XRF characterization of an upper Mississippian cyclothemic section Polotnyanyi Zavod (Moscow Basin, Russia) // Geol. Soc. London Spec. Publ. 2015. V. 414. http://dx.doi.org/10.1144/SP414.1

Alekseeva T., Kabanov P., Alekseev A. Palustrine beds in Late Mississippian epeiric- sea carbonate succession (Southern Moscow basin, Russia) as calcimagnesian pedosedimentary systems // Informator № 49. Book of Abstracts MECC'12, Pruhonice, Czech Republic. 2012. P. 29.

*Alonso-Zarza A.M.* Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record // Earth-Sci. Rev. 2003. V. 60. P. 261–298.

*Auras S., Wilde V., Hoernes S. et al.* Biomarker composition of higher plant macrofossils from Late Palaeozoic sediments // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2006. V. 240. P. 305–317.

*Gallagher T.M., Sheldon N.D.* A new paleothermometer for forest paleosoils and its implications for Cenozoic climate // Geology. 2013. V. 41. P. 647–650.

*Gibshman N.B., Kabanov P.B., Alekseev A.S. et al.* Novogurovsky Quarry. Upper Visean and Serpukhovian // Type and reference Carboniferous sections in the south part of the Moscow Basin. Field Trip Guidebook of Intern. I.U.S.C. Field Meeting, August 11–12, Moscow / Eds. A.S. Alekseev, N.V. Goreva. Moscow, 2009. P. 13–44.

*Hoefs J.* Stable Isotope Geochemistry, 6th ed. Berlin: Springer Verlag, 2009. 286 p.

*Kabanov P.B., Alekseev A.S., Gibshman N.B. et al.* The upper Viséan – Serpukhovian in the type area for Serpukhovian Stage (Moscow Basin, Russia). Part 1. Sequences, disconformities, and biostratigraphic summary // Geol. J. 2014. (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/gj.2612

*Mermut A.R., Cano A.F.* Baseline studies of the Clay Minerals Society source clays: chemical analyses of major elements // Clays and Clay Minerals. 2001. V. 49. № 5. P. 381–386.

*Nesbitt H.W., Young G.M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 1523–1534.

*Peters-Kottig W., Strauss H., Kerp H.* The land plant  $^{\delta}$ 13C record and plant evolution in the Late Palaeozoic // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2006. V. 240. P. 237–252.

*Platt N.H., Wright V.P.* Palustrine carbonates at the Florida Everglades: towards an exposure index for the fresh-water environment // J. Sedimentary Petrol. 1992. V. 62. № 6. P. 1058–1071.

*Retallack G.J.* Soils of the Past: An introduction to paleopedology. 2nd ed. Malden, USA: Blackwell Sci., 2001. 404 p. *Sheldon N.D., Tabor N.J.* Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosoils // Earth-

Sci. Rev. 2009. V. 95. P. 1–52. Stevenson B.A., Kelly E.F., McDonald E.V. et al. The stable

carbon isotope composition of soil organic carbon and pedogenic carbonates along a bioclimatic gradient in the Palouse region, Washington State, USA // Geoderma. 2005. V. 124. P. 37–47.

*Tabor N.J., Poulsen Ch.J.* Palaeoclimate across the Late Pennsylvanian–Early Permian tropical palaeolatitudes: A review of climate indicators, their distribution, and relation to palaeophysiographic climate factors // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2008. V. 268. P. 293–310.

*Thorez J.* Practical identification of clay minerals (a handbook for teachers and students in clay mineralogy). Liege: State Univ., 1976. 90 p.

*Van Reeuwijk L.P.* (ed.). Procedures for soil analysis (6th ed.). Wageningen, 2002 (ISRIC Technical paper 9).

*Wilson M.J.* Soil smectites and related interstratifies minerals: recent developments // Proc. of the Intern. Clay Conference / Eds. Schultz L.G., Olphen van H., Mumpton F.A. Denver, 1987. P. 167–173.

### Объяснение к таблице I

Фиг. 1–6. Педокомплекс в карьере Полотняный завод: 1 – разрез ПЗ-I, общий вид педокомплекса, где обнажены ПП 1 тип 1 (а), ПП 2 (б) и черный "ризоидный" известняк (в); 2 – стигмария в подошве педокомплекса (обозначена стрелками); 3 – ПП 1 тип 1, стигмария в подошве обозначена стрелкой; 4 – ПП 1 тип 2, корни обозначены стрелками; 5 – экскременты беспозвоночных из А-гор. ПП 1; 6 – отпечатки растений из органогенного горизонта ПП 1.

#### Объяснение к таблице II

Фиг. 1–7. Палеопочва 2 педокомплекса в карьере Полотняный завод: 1, 2 – профиль ПП 2 (а) и АПК (б) (стрелками обозначены инситные корни); 3, 4 – инситные корневые системы (выделены стрелками); 5, 6 – два вида корней; 7 – Annularia stellata (?).

# Paleosol Complex in the Uppermost Mikhailovian Horizon (Viséan, Lower Carboniferous) in the Southern Flank of the Moscow Syneclise

# T. V. Alekseeva, A. O. Alekseev, S. V. Gubin

The beds composing an unconformity at the boundary of the Mikhailovian and Venevian horizons in the Polotnyanyi Zavod quarry (Kaluga Region) are investigated. A detailed study has shown that, at the base of black "rhizoid" limestone, a pedocomplex of two paleosols of different genesis is formed. From below upwards, rocks of subaerial (Paleosol 1 of the rendzina type), subaerial—subaquatic (Paleosol 2 on bog marl), and palustrine genesis replace each other. Both paleosols display a horizontal structure of profiles; the presence of the root systems, imprints of plants, and traces of animal's activity; the presence of soil new formations (micritic calcite with a light isotopic composition of C, Fe). In paleosols, some geochemical indices (PWI, CIA, CIA-K), the ratios Ba/Sr, Rb/Sr, and concentration of Ga increase. The soil complex was formed under conditions of a warm subhumid climate. In the structure and lateral scale of distribution, the object investigated is comparable to the Everglades marsh landscape of of Florida (United States).

Keywords: Paleosols, pedocomplex, Viséan, Moscow sedimentary basin, rendzina, palustrine deposits, bog marl

ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ № 4 2016



ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ № 4 2016 (ст. Алексеевой и др.)

