

УДК 56.016.1:551.736.3(470.3)

РИЗОЛИТЫ И ПРИЗНАКИ ПЕДОГЕНЕЗА В ВЕРХНЕЙ ПЕРМИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

© 2023 г. Е. В. Карасев^{а, б, *}, А. Г. Сенников^{а, **}, Д. С. Мизинцев^{с, ***}

^аПалеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, 117647 Россия

^бКазанский федеральный университет, Казань, 420008 Россия

^сПалеонтолог-любитель, Вязники, 601441 Россия

*e-mail: karasev@paleo.ru

**e-mail: sennikov@paleo.ru

***e-mail: ortodoxfoto@gmail.com

Поступила в редакцию 28.12.2022 г.

После доработки 06.04.2023 г.

Принята к публикации 06.04.2023 г.

Описаны остатки ризолитов (ископаемых корней) из верхнепермских отложений в окрестностях г. Вязники на востоке Владимирской обл. Ризолиты представлены двумя морфотипами (М1 и М2). Ризолиты М1 вертикально ориентированы и представлены несколькими типами: ризокреции, отпечатки и псевдоморфозы по корням. Исследование поперечных и продольных сколов ожелезненных ризолитов показало, что центральный проводящий пучок (стела) может быть трех типов. На двух ризолитах замечено, что места отхождения боковых корней расположены четырьмя ризостихами, что указывает на тетрархный тип проводящего пучка. Ризолиты М2 представляют собой горизонтальную сеть тонко переплетенных между собой отпечатков корней. Два слоя с инситными ископаемыми корнями без каких-либо следов транспортировки этих корней указывают на то, что толща представляет собой педокомплекс. Описанные в работе находки ризолитов существенно дополняют наши представления о палеообстановках и палеоэкосистеме в поздней перми в центре Русской платформы.

Ключевые слова: ризолиты, ископаемые корневые системы, почвообразование, палеоэкосистемы, вятский ярус, пермская система

DOI: 10.31857/S0031031X23060041, EDN: FWJXT

ВВЕДЕНИЕ

В центральном регионе Европейской России, на востоке Владимирской обл., в Вязниковском и Гороховецком районах распространены пограничные континентальные отложения перми и триаса, содержащие богатую и разнообразную флору и фауну. Особый интерес представляет терминальнопермская вязниковская биота, отражающая предкризисный этап развития и смены континентальных сообществ Восточной Европы на рубеже палеозоя и мезозоя (Сенников, 1995, 2017; Sennikov, 1996; Ивахненко и др., 1997; Afonin, 2005; Naugolnykh, 2005; Наугольных, 2006; Sennikov, Golubev, 2006; Карасев, Красилов, 2007; Аристов, 2008; Сенников, Голубев, 2012, 2017; Owocki et al., 2013; Миних и др., 2014; Lebedev et al., 2015; Bajdek et al., 2016, 2017; Niedźwiedzki et al., 2016; Шишкин и др., 2018; Scholze et al., 2019; Сенников и др., 2020 и др.).

Уже в раннем девоне появляются надежные свидетельства развития корнеобитаемых палеопочв (Kenrick, Strullu-Derrien, 2014). На территории Восточно-Европейской платформы ископаемые корни и палеопочвы описаны из отложений среднего девона и карбона (Алексеева, 2020), семь морфотипов ископаемых корней описаны из пермских отложений Вологодской обл. (Арефьев, Наугольных, 1998).

В связи с этим большой интерес представляет дополнительная информация о вязниковской флоре, в частности, обнаружение здесь ризолитов. Основные задачи данной статьи — описание впервые обнаруженных остатков ископаемых корней из позднепермского местонахождения Балымотиха-3: морфологии, предполагаемой систематической принадлежности, обсуждение возможных условий их произрастания и захоронения, а также других признаков педогенеза.

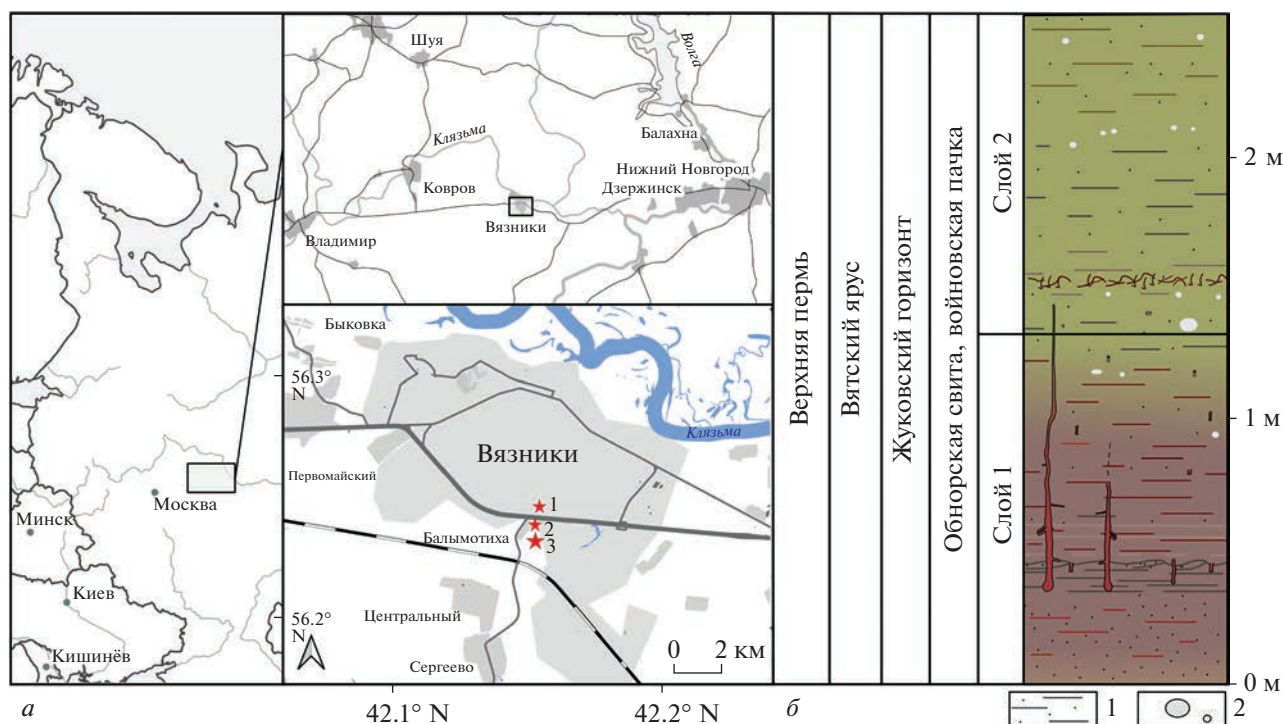


Рис. 1. Схема расположения (а) и стратиграфическая колонка (б) местонахождения Балымотиха-3, Владимирская обл., окрестности г. Вязники; верхняя пермь, вятский ярус, верхневятский подъярус, жуковский горизонт. Обозначения: 1 – алевриты; 2 – карбонатные конкреции.

МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ БАЛЫМОТИХА – ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

Местонахождение Балымотиха (Балымотиха-1 и 2) (Sennikov, Golubev, 2006; Lebedev et al., 2015; Scholze et al., 2019) расположено на южной окраине г. Вязники в глубоком овраге с ручьем, географические координаты: 56.21° с.ш., 42.15° в.д. (рис. 1, а). В этом местонахождении, как и в ряде других местонахождений в Вязниках, обнажаются верхнепермские отложения – войновская и жуковская пачки (жуковский горизонт, верхневятский подъярус, вятский ярус) (Lebedev et al., 2015).

Войновская пачка сформировалась, вероятно, в условиях аллювиально-озерной равнины. В нижней части по оврагу у д. Балымотиха эта пачка представлена старично-озерными отложениями относительно глубокой части застойных водоемов – черными и темно-серыми глинами, обогащенными пиритом, с растительным детритом и редкими остатками конхострак и насекомых плохой сохранности. Выше по разрезу глины становятся темно-серыми и вишнево-серыми, алевритистыми, без конкреций пирита, и содержат остатки разнообразной макрофлоры, конхострак, остракод и рыб, богатую фауну насекомых, а также единичные неопределимые фрагменты костей тетрапод и копролиты. Это отложения более мел-

ководных и благоприятных для жизни частей водоемов. В верхах войновской пачки в обнажениях по оврагу у д. Балымотиха преобладает переслаивание буровато-серых и кирпично-красных алевритов и мелкозернистых буровато-красных полимиктовых песков и песчаников, представляющих собой отложения мелководной, временами осушавшейся части бассейна с более разнообразным гидродинамическим режимом, когда лимнический тип осадконакопления сменялся флювиальным.

В обнажениях по оврагу у д. Балымотиха в войновской пачке не наблюдается прослоев и линз светло-серых, желтовато-серых или оранжевых кварцевых песков, которые в местонахождении Соковка и в других точках на западе Вязников резко переслаиваются с темно-серыми и вишнево-серыми глинами (Newell et al., 2010; Scholze et al., 2019).

Сверху с резким размывом, над неровной эрозионной границей на войновскую пачку налегают красновато-желтые косослоистые полимиктовые пески жуковской пачки, представляющие собой русловые отложения мощного интенсивного потока большой реки. В этой косослоистой толще наблюдаются тонкие горизонтальные прослои красных глин и линзовидные косослоистые прослои конгломератов с галькой и гравием красных глин. В жуковской песчаной пачке в овраге у

д. Балымотиха в прослоях конгломератов были найдены лишь единичные фрагментарные остатки рыб, в т.ч. *Mutovinia stella* (определение А.С. Бакаева).

Примерно в 150 м выше по оврагу от основного обнажения местонахождения Балымотиха-2 в русле и правом борту ручья обнажаются глины и алевриты, переслаивающиеся с мелкозернистыми песчаниками. Это обнажение (Балымотиха-3) обнаружил в 2004 г. А.Г. Сенников и собрал первые образцы вертикально расположенных ризолитов. В последующие годы выходы коренных пород в данном месте не наблюдались, т.к. были перекрыты наносами ручья. В 2020 г. Д.С. Мизинцев вновь обнаружил остатки корней и собрал большую их коллекцию. Он выложил фотографии найденных образцов в разделе “Находки” на форуме сайта ПИН РАН, на что обратила внимание Е.А. Сенникова и связала Д.С. Мизинцева со специалистами. Затем полевые исследования местонахождения Балымотиха-3 со сборами ризолитов проводились Е.В. Карасевым, А.Г. Сенниковым и Д.С. Мизинцевым в 2020–2022 гг. Это один из ярких примеров плодотворного взаимодействия и сотрудничества любителей и ученых-палеонтологов, когда новая ценная информация и новые уникальные палеонтологические образцы сохраняются и становятся достоянием науки. Собранный коллекция ризолитов хранится в Палеонтологическом ин-те им. А.А. Борисяка РАН (ПИН РАН) под № 5563.

В местонахождении Балымотиха-3 обнажается верхняя часть войновской пачки, которую несколькими метрами выше по противоположному, левому борту оврага перекрывают базальные конгломераты и косослоистые пески жуковской пачки, плохо здесь обнаженные. Ниже приводится описание разреза снизу вверх (рис. 1, б):

Слой 1. Горизонтальное переслаивание серовато-красновато-буроватых плотных алевритов, мелкозернистых алевритистых песчаников и алевритистых глин с многочисленными тонкими красными прослоями. Окраска таких тонких прослоев или поверхностей более мощных слоев может быть от кирпично-красной до интенсивно-вишнево-красной. Такая же интенсивно-красная окраска и корки наблюдаются по трещинам, что в результате создает впечатление значительной красноты слоя. На нескольких уровнях имеются прослои с редкими карбонатными (мергелистыми) белыми или светло-серыми стяжениями небольших размеров — до 2–3 см в диаметре. Стяжения начинают встречаться приблизительно выше метра от подошвы слоя. На уровне примерно 50 см выше подошвы на поверхностях напластования наблюдаются знаки ряби, которые прослеживаются на значительное расстояние. В целом они субпараллельно расположенные, немного

изогнутые, их гребни низкие, широкие, в сечении асимметричные, направление — примерно 150° (рис. 2, а). В данном слое имеются многочисленные вертикально расположенные ризолиты, отнесенные нами к морфотипу 1 (М1) — в основном их средние части и нижние окончания, интенсивной красно-вишневой, местами темной фиолетово-вишневой окраски и представляющие собой, как правило, ризокреции. Диаметр ризолитов составляет от 3 до 50 мм, обычно увеличивается сверху вниз. Их нижние окончания, как правило, резко утолщены (до 50 мм) и все достигают одного и того же уровня — примерно 35–40 см выше подошвы слоя. На один квадратный метр приходится около 100 ризолитов (рис. 2, б). Переход к слою 2 постепенный. Видимая мощность — 1.3 м.

Слой 2. Буровато-серые горизонтально-слоистые плотные алевриты с прослоями алевритистых глин. По трещинам и по поверхности прослоев — ржавая и ржаво-бурая окраска. На нескольких уровнях имеются прослои с карбонатными (мергелистыми), белыми или светло-серыми крупными стяжениями диаметром 3–7 см (рис. 3, а); диаметр отдельных стяжений достигает 20 см. В данном слое вертикально расположенные ризолиты морфотипа М1 встречаются реже, только их верхние части, как правило, заполненные материалом, сходным с их вмещающим, — зеленовато-или желтовато-серым рыхлым алевритом, т.е. характер их сохранности (или тип формирующегося ризолита) изменяется. Таким образом, ризолиты М1 секут множество прослоев в пределах одного слоя, а самые длинные продолжают из слоя 2 почти до низа слоя 1. Немного выше основания слоя обнаружен горизонт мощностью около 5 см с тонкими переплетенными между собой отпечатками корней, отнесенными нами к морфотипу 2 (М2) (рис. 3, б–в). Общая видимая мощность слоя — 1.2 м.

Слой 2 перекрывается с размывом четвертичным овражным аллювием.

По генезису отложения слоя 1 местонахождения Балымотиха-3, вероятно, являются прибрежно-отмельными, образовавшимися в относительно стабильных условиях ритмического осадконакопления в обширном водном бассейне. Знаки ряби (рис. 3, г), обнаруженные в слое 1, говорят о периодах осадконакопления в субаквальных условиях, когда в бассейн в основном приносился осадочный материал при спокойном, вероятно, плоскостном течении воды.

Наличие ризолитов (ископаемых корней) является первостепенным и часто единственным критерием для обнаружения палеопочв (Алексеева, 2020). Поэтому для слоя 1 с ризолитами морфотипа М1 можно предположить существование эпизодов кратковременного осушения с формированием палеопочв.

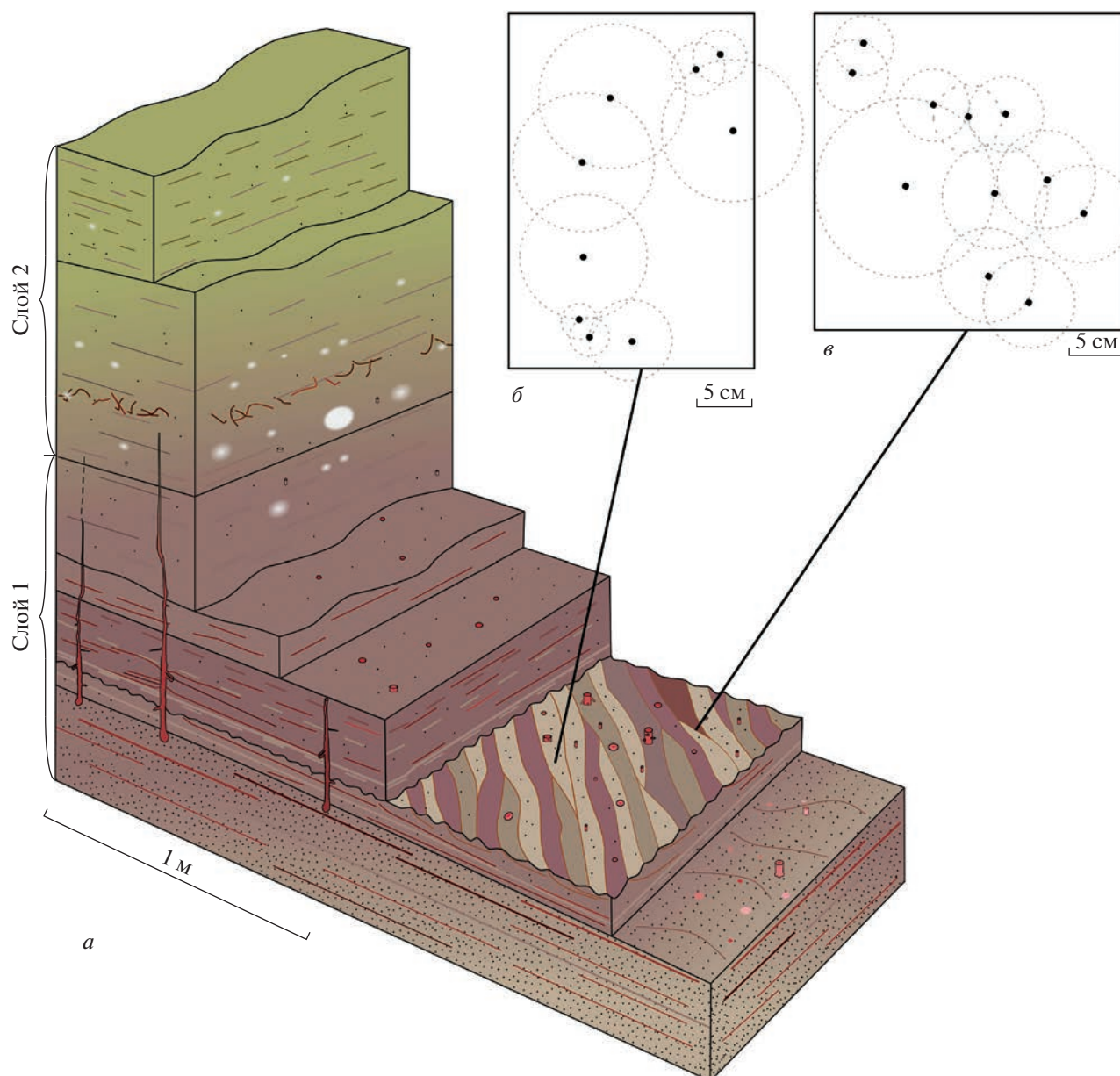


Рис. 2. Блок-диаграмма местонахождения Балымотиха-3 и положение находок ризолитов М1 в обнажении (а); расстояние между отдельными ризолитами на двух образцах (б, в).

Во время образования слоя 2 периоды осушения и формирования палеопочв в субаэральных условиях, вероятно, стали более длительными, поэтому можно говорить уже о пойменных условиях формирования слоя 2, о чем свидетельствуют обнаруженные здесь ризолиты двух морфотипов (М1 и М2), особенно ризолиты М2, образующие единый горизонтальный прослой.

Однако следов существенного изменения условий осадконакопления и длительного осушения, например, трещин усыхания, ни в слое 1, ни в слое 2 не наблюдается, что может говорить об относительно влажных условиях именно для дан-

ного прибрежного участка аллювиально-озерной равнины в конце перми, в то время как климат этого времени в целом на территории Московской синеклизы был скорее сезонным (Арефьев, Наугольных, 1998; Сенников и др., 2003 и др.).

УСЛОВИЯ ЗАХОРОНЕНИЯ КОРНЕЙ И ТИПЫ РИЗОЛИТОВ

Обнаруженные в слое 1 вертикально расположенные ризолиты морфотипа М1 являются инситными. Отсутствие вертикальных стволов деревьев в прижизненном положении, вероятно, говорит об

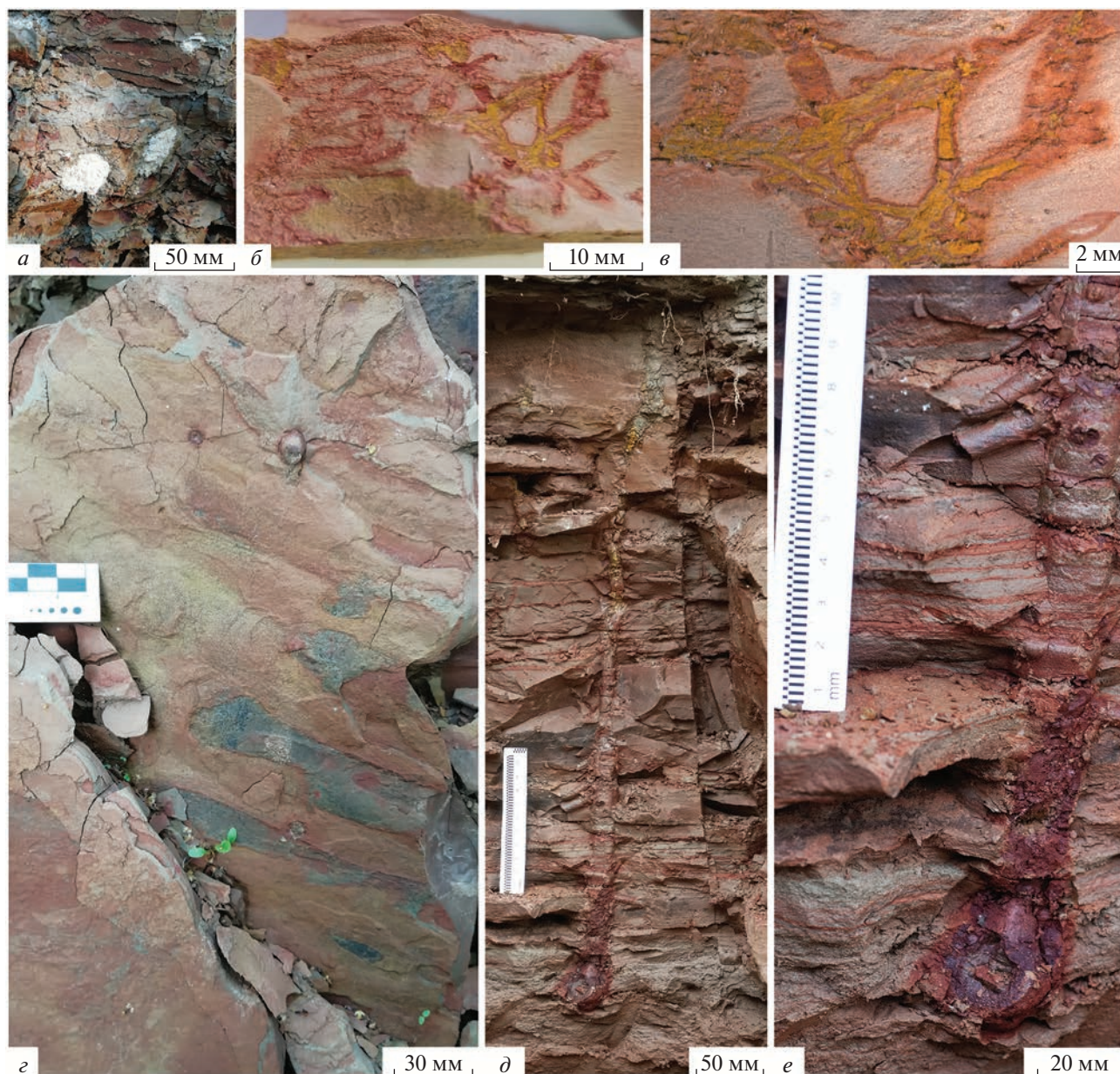


Рис. 3. Карбонатные (мергелистые), внутри белые стяжения (а). Образец из горизонта в слое 2 с тонкими переплетенными между собой ризолитами М2, экз. ПИН, № 5847/44 (б), сеть корней крупнее (в). Знаки ряби и ризолиты М1 в слое 1 (г). Общий вид на ризолит М1 хорошо развитого корня в обнажении, экз. ПИН, № 5847/49 (д), часть, соответствующая верхушке корня (е).

относительно медленном осадконакоплении, когда осадок не успевал погребать растущие растения. Стволы же упавших растений либо разлагались, либо уносились с места произрастания при усилении течения, приноса воды и осадка.

Находки остатков корневых систем, часто в вертикальном положении и без каких-либо следов транспортировки, указывают на то, что мы имеем дело с процессами почвообразования (рис. 2, а). Подобные пермские палеопочвы с остатками корней и карбонатными нодулями из-

вестны из верхней части группы Бофорт бассейна Кару в Южном полушарии (Smith et al., 1993).

Корневой горизонт в основании слоя 2 с беспорядочно ветвящимися ризолитами морфотипа М2 принадлежит самостоятельной маломощной палеопочве.

Современными аналогами обнаруженных нами палеопочв слоя 1 могут быть слабо развитая аллювиальная (пойменная) почва или почва вокруг старичных озер. Аллювиальные почвы образуются в поймах и дельтах рек в условиях регулярного за-

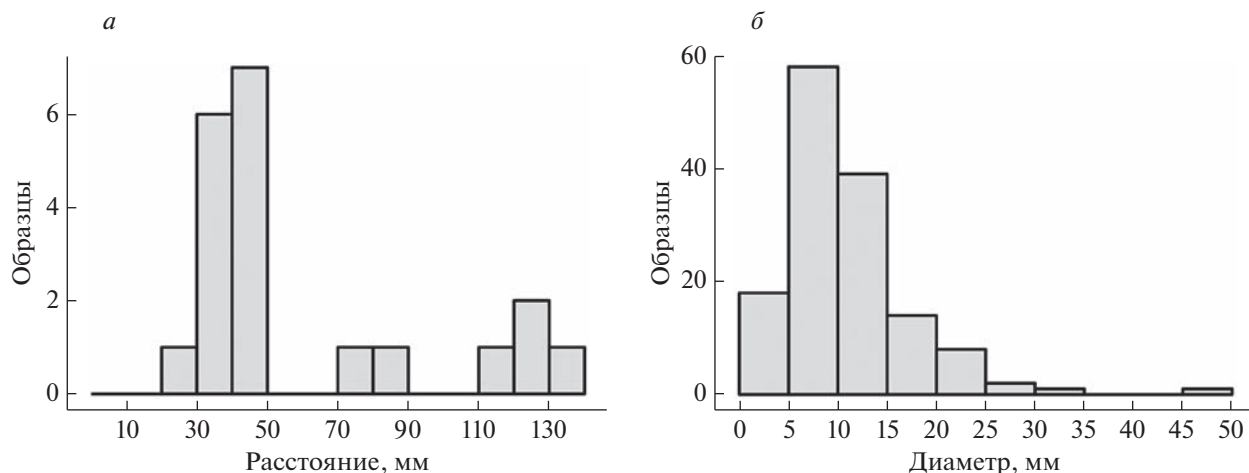


Рис. 4. Гистограммы расстояния между отдельными ризолитами М1 (а) и диаметра ризолитов М1 (б).

топления паводковыми водами. Формирование таких почв (так называемых синлитогенных почв) происходит одновременно с осадконакоплением. Почвы этого типа характеризуются мало-мощным гумусовым горизонтом и выраженным слоистым строением (Егоров и др., 1977; Добровольский, 2011).

Типы ризолитов. Используя классификацию К. Клаппы (Клаппа, 1980), ризолиты морфотипов М1 и М2 представлены следующими типами: ризокреции (конкреции, образованные вокруг корня), псевдоморфозы, замещающие корневые ткани, и отпечатки поверхности корней. В некоторых случаях ризолиты представляют собой комбинацию этих трех способов сохранности. Все ризолиты обогащены железом по сравнению с вмещающей их породой.

Большая часть ризолитов М1 в слое 1 отнесены к ризокрециям (или ризоконкрециям). Ризокреции, или трубки (чехлы) вокруг корней, по-видимому, образовывались при жизни растений. В подтверждение этого предположения можно выдвинуть следующие аргументы. Во-первых, чрезвычайно похожие ризокреции образуются вокруг корней современных растений в течение их жизни (Росликова, 1996; Голубцов и др. 2019). Во-вторых, в Балымотихе-3 в слое 1 на разных корнях одинакового размера ризокреции могут быть или развиты в разной степени, или не развиты вовсе. Последнее естественнее было бы объяснить кратковременной локальной разницей в условиях произрастания конкретного растения, в особенностях состава и характера циркуляции грунтовых вод. Если бы ризокреции образовались в ходе диагенеза, то за многие миллионы лет условия в данном слое были бы усредненными и способствовали бы образованию сходных конкреций на

всех одинаковых корнях, как сходных центрах осаждения минеральных солей.

Ризокреции вытянутой цилиндрической или неправильной формы (табл. I, фиг. 1; см. вклейку). Отличительной особенностью ризокреции является несовпадающая с естественными очертаниями корня форма и заметная горизонтальная слоистость, повторяющая вмещающий осадок (табл. I, фиг. 1–8). Размеры ризокреций в поперечном сечении варьируют от одного до пяти см. Наиболее крупные ризолиты этого типа обнаружены в апикальной части хорошо развитых корней.

Второй тип сохранности ризолитов морфотипа М1 – псевдоморфозы по корням. Они представляют собой частично минерализованные корневые трубки правильной цилиндрической формы с характерной продольной штриховкой на поверхности (рис. 5, а–в), где, в большинстве случаев, ткани корней полностью утрачены. Однако на поперечном сколе можно различить анатомо-топографические зоны, такие как зона первичной коры (кортекса) и пустоты, соответствующие элементам центрального осевого цилиндра (рис. 5, г–е). Кроме этого, обнаружены образцы ожелезненных тканей корней, которые сохранили некоторые детали анатомического строения (рис. 5, е; табл. II, фиг. 1–6; см. вклейку). Иногда верхние части ризолитов М1 представляют собой полые трубки, заполненные зеленовато- или желтовато-серым рыхлым алевритом, слабо отличающимся от вмещающей породы.

Наиболее длинные ризолиты морфотипа М1, переходящие из слоя 1 в слой 2, как правило, сменяют тип сохранности снизу вверх – в своей нижней части, в слое 1 они представляют собой ризокреции, а в верхней, в слое 2 – псевдоморфозы.

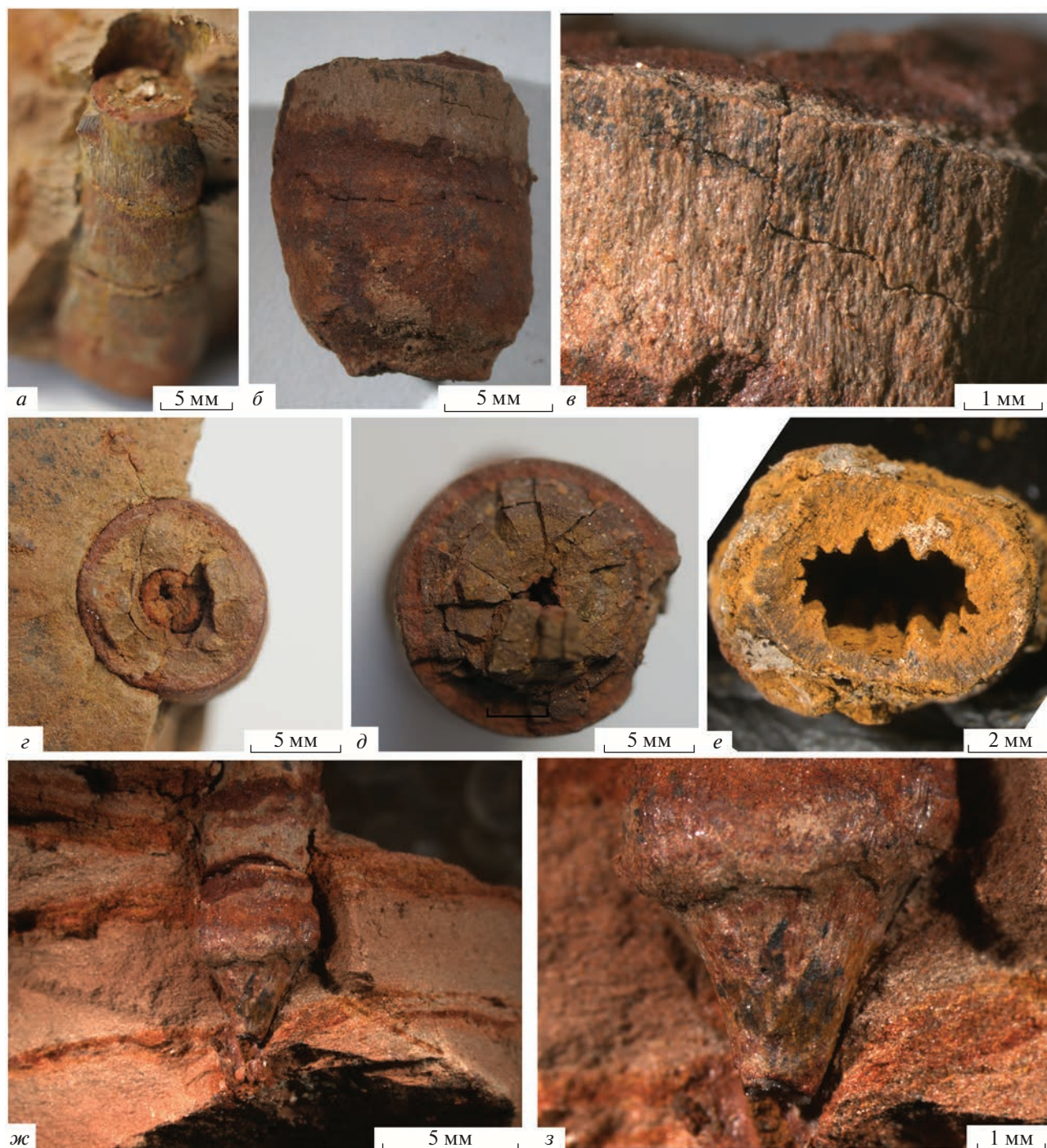


Рис. 5. Ризолиты M1 с сохранившейся характерной продольной штриховкой на поверхности: *а* – экз. ПИН, № 5847/2, *б* – экз. ПИН, № 5847/26, *в* – то же, детальный вид на продольную штриховку; *г–е* – три типа центрального цилиндра на поперечных сколах ризолитов: *г* – экз. ПИН, № 5847/2, *д* – экз. ПИН, № 5847/8, *е* – экз. ПИН, № 5847/31; *ж, з* – ризолит апикальной части корня, видна зона корневого чехлика и отчетливое утолщение, соответствующее зоне всасывания, экз. ПИН, № 5847/37: *ж* – общий вид, *з* – детальный вид на зону корневого чехлика.

Ризолиты морфотипа M1 по простиранию встречаются беспорядочно и расположены на расстоянии в среднем 60 мм друг от друга (от 25 до 130 мм и более) (рис. 2; 3, *д, е*). Их размеры, главным образом, зависят от того, насколько развиты

корни, и от мощности минеральных чехлов вокруг них. Длина сохранившихся фрагментов значительно варьирует от нескольких миллиметров до почти полутора метров, а диаметр – от нескольких мм до пяти см (рис. 4, *а, б*).

Третий тип сохранности — ожелезненные отпечатки — наблюдается только у ризолитов морфотипа М2 в слое 2.

ОПИСАНИЕ И СРАВНЕНИЕ РИЗОЛИТОВ

Реконструкция морфологии и некоторых деталей анатомии корней. Остатки крупных, хорошо развитых корней (ризолиты М1) прямые или слабоизвилистые, в средней и верхней части видны боковые корни, отходящие под углом 80° – 90° , в редких случаях около 45° (рис. 4, б). Оси второго порядка также прямые или слабоизвилистые, длиной более 30 мм. Менее развитые корни могли быть представлены как вертикально ориентированными ответвлениями боковых корней, так и самостоятельными корнями небольших растений. Некоторые ризолиты М1 апикальных частей корня имеют конусовидное сужение, которое, возможно, соответствует зоне корневого чехлика, а отчетливое утолщение выше — зоне всасывания (рис. 5, ж, з).

В тех случаях, когда сохранность ризолитов позволяет установить расположение боковых корней или получить данные о типе проводящей системы, ризолиты М1 можно разделить на три группы.

Первая, самая распространенная, группа ризолитов М1 — с отчетливо видной на поперечном сечении границей между паренхимой и олигоархным центральным проводящим пучком (рис. 5, г). Вторая группа ризолитов М1 включает в себя петрификации средних и мелких корней с центральной полостью треугольных или овальных очертаний с зубчатыми краями (рис. 5, д, е). Корни этих растений имели, скорее всего, полиархный тип ксилемы. Третья группа ризолитов — ризокреции небольших фрагментов корней, диаметром около 10 мм, с боковыми корнями, расположенными четырьмя отчетливыми ризостихами (табл. I, фиг. 4). К этой группе также относится ризолит, боковые корни которого отходят крестообразно в четыре стороны (табл. I, фиг. 5). Ныне живущие растения, как правило, образуют боковые корни напротив лучей первичной ксилемы (Эзау, 1980). Таким образом, группа в четыре ризостиха на обнаруженных образцах указывает на тетрархный тип центрального проводящего луча корней этих растений.

Исследование сохранившихся минерализованных тканей с помощью сканирующего микроскопа (СЭМ) показало, что имеются остатки клеток нескольких типов. На поперечном сколе обр. ПИН, № 5847/31 (табл. II, фиг. 1) видны расходящиеся веерообразные ряды паренхимных клеток, с размером в поперечном сечении около 50×50 мкм (табл. II, фиг. 2, 3). На продольном сколе обр. ПИН, № 5847/28 (табл. II, фиг. 4) видны изомет-

ричные клетки паренхимы с размерами в продольном сечении 50×86 мкм (табл. II, фиг. 5) и длинные вытянутые клетки шириной 40–50 мкм и длиной от 480 мкм, похожие на трахеиды первичной ксилемы (табл. II, фиг. 6).

Ризолиты морфотипа М2 представлены ожелезненными отпечатками, формирующими, как сказано выше, корневой горизонт верхней палеопочвы (по типу мата). Ризолиты формируют систему обильно ветвящихся, сильно переплетенных между собой отпечатков. Ширина осей первого порядка составляет 1–1.5 мм, длина — не менее чем 30 мм. Иногда корни ветвятся вильчато, оси второго порядка слабоизогнутые, шириной около 0.5 мм, длиной 10–15 мм.

Сравнение с уже описанными морфотипами ризолитов из близковозрастных отложений. Мы намеренно воздерживаемся от использования бинарной номенклатуры при описании ризолитов, т.к. изучение деталей анатомии показало, что, несмотря на идентичную морфологию, ризолиты могут принадлежать различным группам растений. Тем не менее, ниже приведено сравнение ризолитов из Балымотихи-3 с морфотипами изолированных корней из пермских отложений Вологодской, Архангельской областей и Татарии. В работе М.П. Арефьева и С.В. Наугольных (1998) из верхнепермских отложений бассейна рек Сухона и Малая Северная Двина описано два морфотипа, отнесенных к формальным видам рода *Radicites* Potonie, 1893, пять форм описано в открытой номенклатуре. Морфотипы *Radicites* sp. 1, R. sp. 3 и R. sp. 4 отличаются от ризолитов из Балымотихи-3 тем, что они ориентированы в слое горизонтально, а не вертикально и имеют максимальную длину не более 15 см. Остатки корней *Radicites* sp. 2 отличаются тем, что собраны в единый агрегат с радиально расходящимися осями первого порядка. Вертикально ориентированные *Radicites* sp. 5 отличаются сложным неправильным характером ветвления и очень сильно меняющимся размером осей, а также крючкообразно изгибающимися аппендиксами. Судя по опубликованным изображениям и описанию, вид *Radicites sukhonensis* Arefiev et Naugolnykh, 1998 представляет собой крупные, вертикальные, неветвящиеся корни с многочисленными мелкими аппендиксами, и очень близок к наиболее развитым из описываемых нами ризолитов морфотипа М1. Однако, в описании *R. sukhonensis* указано, что очень редко оси первого порядка могут дихотомически ветвиться, чего никогда не наблюдалось у описываемых нами корней с моноподиальным ветвлением. Кроме того, *R. sukhonensis* могут быть не вертикальными, их диаметр не изменяется по высоте, к основным корням прикрепляются овальные тела, основные и боковые корни тоньше и короче. Наконец, корни *Radicites erraticus* Arefiev et Naugolnykh, 1998 характеризу-

ются обильным беспорядочным сетчатым ветвлением и очень тонкими осями. Мелкие, обильно ветвящиеся ризолиты М2 могли бы быть формально отнесены к этому морфотипу. Различие изученных в данной работе ризолитов морфотипа М2 заключается в том, что, в отличие от *R. erraticus*, они образуют равномерную сеть из корней, а не преимущественно вертикально ориентированные корни.

Достаточно крупные корни *R. trimorphus* Naugolnykh, 2015 и *R. sentjakensis* Esaulova, 1986, описанные из средней перми Архангельской обл. и Татарии, отличаются от описанных нами корней морфотипа М1 грубой продольной ребристостью и наличием боковых ответвлений третьего и более порядков (Есаулова, 1986; Naugolnykh, 2015).

Остатки ископаемых корней в отложениях перми северной части Московской синеклизы встречаются достаточно часто, однако в южной ее части (в низовьях Оки и Клязьмы, в Верхнем Поволжье и на Ветлуге) их находки весьма редки. В районе Вязников и Гороховца только в позднепермском местонахождении Гороховец обнаружен карбонатный палеопочвенный горизонт с корнями, напоминающими *Radicites sukhonensis* (Сенников и др., 2003). Палеопочвы и ископаемые корни не характерны для верхнепермских отложений данного региона, но выше границы перми и триаса, в вохминской свите они появляются повсеместно и в большом количестве, так что служат одним из признаков отложений низов триаса (Голубев и др., 2012). Корни из вохминской свиты низовьев Клязьмы (местонахождения Арефино, Слукино, Старое Слукино и многие другие) более всего похожи на *R. erraticus* из разновозрастных отложений по р. Ветлуга, в т.ч. на описанных Арефьевым и Наугольными (1998). Эти раннетриасовые корни явно отличаются от описанных нами ризолитов морфотипа 2 из Балымотихи-3 по своей морфологии, меньшей ожелезненности и, как правило, наличию вокруг них зоны оглеения. Появление ризолитов иной морфологии и массовое распространение хорошо сформированных палеопочв свидетельствует о существенной смене абиотических условий, характера и состава растительного покрова и в целом палеоэкосистемы в данном регионе на рубеже перми и триаса. Это может быть связано с резким обеднением состава растительности, вымиранием или значительным сокращением числа крупных, прежде всего, древесных форм (голосеменных), и преобладанием мелких травянистых споровых, образующих сплошные заросли на низменностях. Смена растительности, очевидно, привела к изменению характера зарегулированности речного стока и в целом ландшафтов аллювиально-озерных равнин в начале триаса.

Таким образом, можно заключить, что изученные в настоящей работе ризолиты из местонахождения Балымотиха-3 относятся к двум новым для пермских и триасовых отложений Европейской России морфотипам корней.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящее время систематика ископаемых корней из палеозойских и мезозойских отложений разработана довольно слабо и требует ревизии. Поэтому судить о систематической принадлежности корней из местонахождения Балымотиха-3 к какой-либо крупной таксономической группе растений очень сложно. С большей уверенностью можно отвергнуть гипотезу принадлежности корней морфотипа М1 с боковым типом ветвления к плауновидным. Как современные, так и примитивные ископаемые плауновидные имеют апицигенные (нарастающие из апикальной меристемы) корни и гоморизную корневую систему с дихотомически ветвящимися корнями (Hetherington, Dolan, 2017; Hetherington et al., 2019). Напротив, наблюдаемое в некоторых случаях дихотомическое ветвление конечных осей у корней морфотипа М2 скорее может указывать на их принадлежность к плауновидным.

Папоротниковидные растения (хвощовые и папоротники) имеют хорошо развитые корневища, от которых отходят относительно короткие и тонкие придаточные корни с олигоархным типом центрального цилиндра (Тимонин, Филин, 2009; Taylor et al., 2009). Подобных хорошо развитых корневищ среди образцов из Балымотихи-3 обнаружено не было, поэтому принадлежность корней к папоротниковидным также маловероятна. Из пермских отложений Саксонии (Rössler et al., 2014) описаны корневые системы с мощным, но относительно коротким основным корнем без горизонтального корневища, от которого радиально отходят толстые боковые корни. Однако ризолиты М1 (их наиболее крупные экземпляры) достаточно длинные, с тонкими боковыми корнями, поэтому сложно представить, что они могли принадлежать подобным древовидным растениям с хорошо развитым стволем со вторичным ростом.

Таким образом, образцы корней морфотипа М1 как с олигоархным, так и с полиархными (с более чем пятью ксилемными тяжами) типами проводящего пучка, скорее всего, были образованы корнями различных голосеменных растений. Это могли быть пельтаспермовые птеридоспермы или вольциевые хвойные, остатки которых регулярно встречаются в отложениях этого возраста (Naugolnykh, 2005; Карасев, Красилов, 2007; Krassilov, Karasev, 2009).

Следуя разделению растений по типу экологической стратегии на фреатофиты и эфемероиды (Арефьев, Наугольных, 1998), ризолиты морфотипа М1 ближе к фреатофитам, а ризолиты морфотипа М2 — к группе эфемероидов, для которых характерна развитая густая приповерхностная система корней.

Относительно большая длина корней морфотипа М1 может говорить о приспособлении этих растений к низкому уровню грунтовых вод. Ветвящиеся корни М2, скорее всего, подобно *Radici-ites egraticus*, распространились в приповерхностном слое грунта. Формирование карбонатных стяжений в профиле палеопочвы 2 соответствует предположению о сезонном характере климата в конце перми в данном регионе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новые находки растительных остатков, сохраненных в прижизненном положении, существенно дополняют наши представления о палеообстановке и палеоэкосистемах в поздней перми в центре Русской платформы. Их характеризуют богатые и разнообразные флора и фауна, распространение обширных водоемов с достаточно стабильными обстановками. Характер отложений указывает на относительно спокойные условия ритмического осадконакопления в мелководной прибрежно-отмельной, временами осушавшейся части водного бассейна и на пойме. Осушение сопровождалось почвообразованием, о чем свидетельствуют находки инситных ризолитов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-77-10045. Авторы выражают благодарность Е.А. Сенниковой, благодаря работе которой по координации контактов любителей и специалистов на форуме сайта ПИН РАН данное открытие стало достоянием науки, а также глубокую признательность Т.В. Алексеевой и С.В. Наугольных за ценные и конструктивные замечания при подготовке этой статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева Т.В. Ризолиты в палеопочвах девона и раннего карбона и их палеоэкологическая значимость // Почвоведение. 2020. № 4. С. 398–413.
- Арефьев М.П., Наугольных С.В. Изолированные корни из татарского яруса бассейна рек Сухоны и Малой Северной Двины // Палеонтол. журн. 1998. № 1. С. 86–99.
- Аристов Д.С. Новые татарские представители подсемейства Chaulioditinae (Insecta: Grylloblattida: Chaulioditidae) из европейской части России // Палеонтол. журн. 2008. № 1. С. 33–36.
- Добровольский Г.В. Аллювиальные и маршевые почвы // Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, 2011. С. 126–127.
- Голубев В.К., Миних А.В., Балабанов Ю.П. и др. Опорный разрез перми и триаса в Жуковом овраге у г. Гороховец, Владимирская область // Бюлл. региональной межведомственной стратиграфической комиссии по центру и югу Русской платформы. Вып. 5 / Ред. Алексеев А.С. М.: РАЕН, 2012. С. 49–82.
- Голубцов В.А., Хохлова О.С., Черкашина А.А. Карбонатные ризолиты в дюнных песках долины реки Белой (Верхнее Приангарье) // Почвоведение. 2019. № 1. С. 97–108.
- Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
- Есаулова Н.К. Флора казанского яруса Прикамья. Казань: Изд-во КГУ, 1986. 176 с.
- Ивахненко М.Ф., Голубев В.К., Губин Ю.М. и др. Пермские и триасовые тетраподы Восточной Европы. М.: ГЕОС, 1997. 216 с. (Тр. Палеонтол. ин-та РАН. Т. 268).
- Карасев Е.В., Красилов В.А. Позднепермские филлокладии нового рода *Permophyllocladus* и проблемы эволюционной морфологии пельтаспермов // Палеонтол. журн. 2007. № 2. С. 80–86.
- Красилов В.А. Палеоэкология наземных растений (Основные принципы и методы). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1972. 212 с.
- Миних А.В., Миних М.Г., Андрушкевич С.Г. Ихтиофауна терминальной перми в окрестностях г. Вязники Владимирской области // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Науки о Земле. 2014. Т. 14. № 2. С. 91–96.
- Наугольных С.В. Вязниковская флора и природа пермо-триасового вымирания // Причинно-следственные связи и факторы глобальных биосферных перестроек в фанерозое. М.: ГЕОС, 2006. С. 83–89 (Тр. Геол. ин-та РАН. Вып. 580).
- Росликова В.И. Марганцево-железистые новообразования в почвах равнинных ландшафтов гумидной зоны. Владивосток: Дальнаука, 1996. 272 с.
- Сенников А.Г. Ранние текодонты Восточной Европы. М.: Наука, 1995. 142 с. (Тр. Палеонтол. ин-та РАН. Т. 263).
- Сенников А.Г. Новые данные по синэкологии вязниковского наземного сообщества (терминальная пермь, Центральная Россия) // Палеонтол. журн. 2017. № 4. С. 65–77.
- Сенников А.Г., Буланов В.В., Шольце Ф. Копролит с конхостраками из терминальной перми Центральной России — палеобиологическое и стратиграфическое значение // Палеонтол. журн. 2020. № 1. С. 6–13.
- Сенников А.Г., Голубев В.К. К фаунистическому обоснованию границы перми и триаса в континентальных отложениях Восточной Европы. 1. Гороховец-Жуков овраг // Палеонтол. журн. 2012. № 3. С. 88–98.
- Сенников А.Г., Голубев В.К. Последовательность пермских фаун тетрапод Восточной Европы и пермо-триасовый экологический кризис // Палеонтол. журн. 2017. № 6. С. 30–41.
- Сенников А.Г., Губин Ю.М., Голубев В.К. и др. Новый ориктоценоз водного сообщества позднепермских позвоночных Центральной России // Палеонтол. журн. 2003. № 4. С. 80–88.
- Тимонин А.К., Филин В.Р. Ботаника. Т. 4. Систематика высших растений. М.: Академия, 2009. 320 с.

- Шишкин М.А., Сенников А.Г., Голубев В.К. О статье Б.П. Выюшкова "Местонахождение пермских наземных позвоночных в окрестностях г. Вязники" // Палеонтол. журн. 2018. № 2. С. 66–77.
- Эзю К. Анатомия семенных растений. М.: Мир, 1980. 560 с.
- Afonin S.A. Latest Permian palynological assemblage from Vyazniki, European Russia: stratigraphic and palaeoecological significance in relation to the Permo-Triassic boundary // The Nonmarine Permian. New Mexico Mus. Natur. Hist. Sci. 2005. Bull. № 30. P. 5–8.
- Bajdek P., Owoc K., Sennikov A.G. et al. Residues from the Upper Permian carnivore coprolites from Vyazniki in Russia – key questions in reconstruction of feeding habits // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2017. V. 482. P. 70–82.
- Bajdek P., Qvarnström M., Owoc K. et al. Microbiota and food residues including possible evidence of pre-mammalian hair in Upper Permian coprolites from Russia // Lethaia. 2016. V. 49. № 4. P. 455–477.
- Hetherington A.J., DiMichele W.A., Lucas S.G. et al. Tiny rhizomorphic rooting systems from the Early Permian Abo Formation of New Mexico, USA // Intern. J. Plant Sci. 2019. V. 180. № 6. P. 504–512.
- Hetherington A.J., Dolan L. The evolution of lycopsid rooting structures: conservatism and disparity // The New Phytologist. 2017. V. 215. № 2. P. 538–544.
- Kenrick P., Strullu-Derrien C. The origin and early evolution of roots // Plant Physiol. 2014. V. 166. № 2. P. 570–580.
- Klappa C.F. Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance // Sedimentology. 1980. V. 27. № 6. P. 613–629.
- Krassilov V., Karasev E. Paleofloristic evidence of climate change near and beyond the Permian–Triassic boundary // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2009. V. 284. № 3–4. P. 326–336.
- Lebedev O.A., Sennikov A.G., Golubev V.K. et al. The first find of Permian ceratodontids (Dipnoi, Osteichthyes) in Russia // Paleontol. J. 2015. V. 49. № 10. P. 1112–1124.
- Naugolnykh S.V. Upper Permian flora of Vyazniki (European part of Russia), its Zechstein appearance, and the nature of the Permian/Triassic extinction // The Nonmarine Permian. New Mexico Mus. Natur. Hist. Sci. 2005. Bull. № 30. P. 226–242.
- Naugolnykh S.V. Fossil flora from the Kazanian (Middle Permian) Iva-Gora locality, Soyana River, Arkhangelsk Region, Russia // Paleontol. J. 2015. V. 49. № 11. P. 1193–1205.
- Newell A.J., Sennikov A.G., Benton M.J. et al. Disruption of playa–lacustrine depositional systems at the Permo-Triassic boundary: evidence from Vyazniki and Gorokhovets on the Russian Platform // J. Geol. Soc. 2010. V. 167. № 4. P. 695–716.
- Niedźwiedzki G., Bajdek P., Qvarnström M. et al. Reduction of vertebrate coprolite diversity associated with the end-Permian extinction event in Vyazniki region, European Russia // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2016. V. 450. P. 77–90.
- Owoc K., Niedźwiedzki G., Sennikov A.G. et al. Upper Permian vertebrate coprolites from Vyazniki and Gorokhovets, Vyatkiyan regional stage, Russian platform // Palaios. 2013. V. 27. № 12. P. 867–877.
- Rössler R., Merbitz M., Annacker V. et al. The root systems of Permian arborescent sphenopsids: evidence from the Northern and Southern hemispheres // Palaeontogr. B. 2014. V. 291. № 4–6. P. 65–107.
- Scholz F., Golubev V.K., Niedźwiedzki G. et al. Late Permian conchostracans (Crustacea, Branchiopoda) from continental deposits in the Moscow Syncline, Russia // J. Paleontol. 2019. V. 93. № 1. P. 72–97.
- Sennikov A.G. Evolution of the Permian and Triassic tetrapod communities of Eastern Europe // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 1996. V. 120. № 3–4. P. 331–351.
- Sennikov A.G., Golubev V.K. Vyazniki biotic assemblage of the terminal Permian // Paleontol. J. 2006. V. 40. Suppl. 4. P. S475–S481.
- Smith R.M.H., Eriksson P.G., Botha W.J. A review of the stratigraphy and sedimentary environments of the Karoo-aged basins of Southern Africa // J. African Earth Sci. (and the Middle East). 1993. V. 16. № 1–2. P. 143–169.
- Taylor T.N., Taylor E.L., Krings M. Sphenophytes // Paleobotany: The Biology and Evolution of Fossil Plants. Amsterdam, Boston: Acad. Press, 2009. P. 239–382.
- Walton J. The roots of Equisetum limosum L. // New Phytologist. 1944. V. 43. № 2. P. 81–86.

Объяснение к таблице I

Фиг. 1–8. Ризокреции ризолитов М1; Владимирская обл., окр. г. Вязники, местонахождение Балымотиха-3; верхняя пермь, вятский ярус; верхневятский подъярус, жуковский горизонт: 1 – общий вид на ризолиты; 2 – ризокреция сходящим боковым корнем, экз. ПИН, № 5847/13; 3 – ризокреция на средней части корня, видна сохранившаяся слоистость осадка, экз. ПИН, № 5847/8; 4 – ризокреция средней части корня с хорошо с видимыми ризостихами, экз. ПИН, № 5847/15; 5 – вид сверху на ризолит с четырьмя боковыми ответвлениями, экз. ПИН, № 5847/36; 6 – ризокреция на дистальной части корня с апикальными утолщениями, экз. ПИН, № 5847/9; 7 – поперечный скол ризокреции небольшого корня, экз. ПИН, № 5847/22; 8 – деталь поперечного скола, видна зона соответствующая центральному цилиндру, экз. ПИН, № 5847/22.

Объяснение к таблице II

Фиг. 1–6. Петрифицированные остатки корней М1; Владимирская обл., окр. г. Вязники, местонахождение Балымотиха-3; верхняя пермь, вятский ярус; верхневятский подъярус, жуковский горизонт: 1 – общий вид поперечного скола корня, экз. ПИН, № 5847/31; 2 – веерообразные ряды клеток на поперечном сечении, экз. ПИН, № 5847/31, СЭМ; 3 – увеличенный фрагмент минерализованных тканей, видны поперечные сечения петрифицированных клеток, экз. ПИН, № 5847/31, СЭМ; 4–6: детали анатомического строения минерализованных тканей корня, экз. ПИН, № 5847/28: 4 – общий вид образца, 5 – радиальный скол клеток паренхимы кортекса, СЭМ; 6 – радиальный скол клеток центрального цилиндра, СЭМ.

Rhizolites and Signs of Pedogenesis from Upper Permian of Central Russia

E. V. Karasev^{1, 2}, A. G. Sennikov¹, D. S. Mizintsev³

¹*Borissiak Paleontological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117647 Russia*

²*Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, 420008 Russia*

³*Amateur-paleontologist, Vyazniki, 601441 Russia*

The remains of fossil roots (rhizolithes) of two morphotypes (M1 and M2) from Upper Permian deposits near the town of Vyazniki in the east of the Vladimir region are described. In the section, M1 rhizolites are vertically oriented and are represented by several types of preservation: rhizocretions, imprints of the roots surface and root petrifications. The study of transverse and longitudinal sections of ferruginized root fragments showed that among the rhizolites there are three types of structure of the central conducting beam (stele). On two rhizolites, it was noticed that the places of branch of the lateral roots are located by four rhizostiches, which indicates a tetrarch type of stele for these roots. The discovery of the remains of root systems in an upright position and without any traces of transportation indicate the first stages of primary soil formation. M2 rhizolites are a network of finely intertwined roots. New findings of *in situ* rhizoliths are significantly complement our understanding the Late Permian paleoenvironments and paleoecosystems in the center of the Russian Platform.

Keywords: rhizolithes, fossil root systems, paleosoils, paleoecosystems, Vyatkian regional stage, Permian system



