

ЛУКИН

Александр Ефимович — академик НАН Украины, главный научный сотрудник Института геологических наук НАН Украины,
Lukin_Alexander@ukr.net

УДК [551.31+351.35]:551.7:548.63

РАЗГАДКА ГЕНЕЗИСА СУХАРНЫХ ГЛИН — КЛЮЧ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ СУШИ РАСТЕНИЯМИ

Открытие fossilized kaolinite-associated soil bacterial-actinomyces-fungal microflora in arid clays (flint clays) allowed to identify a new type of bioliths — global biospheric indicators. Corresponding to them acidic (ferri-) siliceous paleosols, which arose in the Silurian — Devonian and received an exceptionally wide distribution in the early Carboniferous (Turonian — early Viséan), played a key role in the conquest of land by higher plants and animals.

Ключевые слова: сухарные глины, палеопочвы, бактериально-актиномицето-грибная микрофлора, освоение суши высшими растениями.

Введение

Существование глубокой причинной связи основных скачков макроэволюции с критическими фазами развития биосферы не вызывает сомнений, хотя идеологический диапазон ее трактовки весьма широк: от неокатастрофизма до ортодоксального дарвинизма. Без выяснения конкретных факторов и механизмов этой связи невозможен подлинный эволюционный синтез¹. Речь идет о колоссальной, наиболее важной с точки зрения перспектив выживания человеческой цивилизации проблеме, которая, несмотря на общеизвестные успехи наук о Земле и Жизни, далека от своего решения.

Широко распространено мнение о том, что роль личности в науке несравненно меньше, чем в искусстве, и существует некий детерминизм свершения того или иного научного открытия, независимо от того, кто является его конкретным автором. Действительно, рано или поздно то или иное открытие будет сделано. Однако вопрос заключается в том, насколько поздно.

¹ Как пишет Р. Гольдшмидт, «синтетическая теория эволюции, достигшая общеизвестных успехов в познании основных закономерностей видообразования, не в состоянии объяснить природу “больших шагов эволюции”».

Это в полной мере относится к проблеме эволюции биосферы².

Бессмысленно обсуждать, какое из этих двух направлений важнее для магистрального развития естествознания. Судьбе было угодно выбрать биогеохимию, что существенно способствовало прогрессу в сфере экологии, агробиологии и медицины. В то же время исследования в области эволюции биосферы не получили столь же интенсивного целенаправленного развития. Они проводились палеонтологами и седиментологами в рамках экостратиграфии и исторической геологии, что позволило установить ряд важных закономерностей по

² 6 января 1921 г. Владимир Иванович Вернадский после неудачных переговоров с генералом Деникиным о создании научных центров на юге России принимает решение ехать в Крым, Верховным правителем которого тогда был барон Врангель, а в качестве пресс-секретаря при нем состоял сын В.И. Георгий. В Крыму Вернадский не предполагает задерживаться, а намерен уехать в Англию (на рейде у Севастополя его ожидает английский крейсер). Вернадского ждут в Лондоне, где В.И. планирует заняться проблемами эволюции биосферы, развивая и поднимая на новый уровень эволюционную теорию Дарвина. Однако судьба внесла в эти планы существенные коррективы. В Крым пришлось добираться пароходом из Новороссийска (январь, новороссийский бора, шторм). В дороге Вернадский заболевает сыпным тифом. 20 января пароход приходит в Ялту, и его в бессознательном состоянии доставляют на дачу Бакуниной в Горной Щели. Здесь он почти месяц находится между жизнью и смертью (друг Вернадского князь Трубецкой, который провожал его в порту Новороссийска, заболел тифом одновременно с ним и умер, умерла и врач, лечившая В.И.). В марте 1920 г. выздоравливающий Вернадский делает знаменитую запись в «Дневнике» о своих тифозных бредовых видениях: «В мечтах и фантазиях, в мыслях и образах мне интенсивно пришлось коснуться многих глубочайших вопросов и пережить как бы картину моей будущей жизни... Главную часть этих видений составило проведение в человечество новых идей и нужной научной работы в связи с учением о живом веществе... Основной целью моей жизни рисовалось мне создание огромного Института по его изучению». Так именно биогеохимия, а не эволюция биосферы, стала главным направлением дальнейших исследований и научно-организационной (создание БИОГЕЛа и т.д.) деятельности Вернадского.

появлению и вымиранию таксонов различного порядка. Однако до полного эволюционного синтеза — синтеза дарвинизма (естественный отбор как эволюционный фактор), популяционной и эволюционной генетики, учения о биосфере — еще далеко.

Каждый рубеж макроэволюции, совпадающий с «перестройкой» биосферы, характеризуется своей спецификой взаимодействия абиотических и биотических факторов. Следовательно, каждый из них требует конкретного комплексного изучения. Огромное теоретическое и прикладное значение установленных при этом закономерностей не требует дополнительной аргументации. В данной статье рассмотрены биосферные преобразования на рубеже девона и карбона, с которыми связаны важнейшие макроэволюционные события и прежде всего освоение суши высшими растениями (planting of continents). Это событие относится к таким «*вехам в истории Земли, значение которых для правильного прочтения ее летописи ясно каждому исследователю, но которые, тем не менее, так и остаются загадкой*» [1, с. 17]. При этом следует учитывать, что речь идет не просто о выходе на сушу возникших в водной среде высших растений (традиционные представления большинства палеоботаников) или их водорослевых предков (точка зрения Г. Стеббинса, С.В. Мейена и др.), а о сложном многоступенчатом эволюционно-экосистемном процессе, побудительные причины и движущие факторы которого все еще неясны. В ряде работ, включая крупные обобщения по исторической геологии и палеонтологии, этот процесс характеризуется сугубо констатационно. Более того, как отмечал С.В. Мейен, «*по непонятной причине заселение суши растениями далеко не всеми исследователями признавалось проблемой. Некоторым казалось, что не над чем ломать голову — растения вышли из моря на сушу, сначала заселив мелководье, а потом двинулись вдоль рек вглубь континентов. Но накопленные палеоботанические данные заставляют признать, что все было не так просто*» [1, с. 18]. К этому следует добавить, что ссылки некоторых исследователей на «жизненную силу»,

«стремление к экспансии», «принцип постепенности» не способствуют решению этой проблемы, поскольку речь идет не просто о заселении безжизненных просторов (хотя и это сложная проблема), но о завоевании обширных территорий, уже прочно занятых цианобактериальными сообществами.

Цианобактериальные сообщества как главное препятствие освоения суши высшими растениями и животными

Возникшие в раннем докембрии, когда бактерии и простейшие водоросли были единственными обитателями планеты [2, 3], они образовали поразительные по устойчивости и метаболической эффективности экосистемы. Эти их уникальные качества обусловлены парадоксальным сочетанием противоположных по метаболизму микроорганизмов, диапазон которых варьирует от продуцентов кислорода (цианобактерий) до строго анаэробных метанообразующих и метанотрофных сульфатредуцирующих бактерий. Наличие под цианобактериальным матом анаэробной сероводородной зоны не дает возможности нарушать целостность матов никакому аэробному организму. Исключение составляют грибы, «быстро заселяющие влажную поверхность погибающего цианобактериального мата» [2, с. 322].

Итак, вопрос заключается прежде всего в том, как цианобактериальные сообщества уступили господство на суше сообществу высших растений с грибами, актиномицетами, почвенными водорослями и бактериями, т.е. как ответственный за формирование и сохранение современной атмосферы «циклический механизм, включающий в качестве основного компонента кислородно-углекислотный цикл, обусловленный фотосинтезом высших растений и дыханием грибов и бактерий» [2, с. 7], смог заменить связанный с жизнедеятельностью цианобактериальных сообществ кислородно-углекислотно-метаново-сероводородный цикл?

Ответ на этот вопрос оказался связан с загадкой природы необычных глин.

Сухарные глины (флинтклей) — литология и пространственно-временное развитие

Эти странные породы не один век привлекают внимание горняков, геологов и технологов парадоксальным сочетанием различных свойств, что отразилось в их старинных названиях. В англоязычной литературе за ними закрепилось наименование flint clays (флинтклей — кремневые глины), хотя никакого окремнения в этих прочных, но не очень твердых породах нет. Отечественные горняки, подметив существование двух их основных разновидностей, также издавна называли эти глины «кремневками» (очень крепкие, плотные, с раковистым или полураковистым изломом и стекляннным блеском) и «сухарями» (крепкие, но пористые, шероховатые на изломе). Однако в русскоязычной горногеологической и литологической литературе термин «сухарные глины» (СГ) закрепился в качестве общего наименования — синонима «флинтклеев».

Сухарные глины присутствуют в составе разновозрастных бокситоносно-латеритных гумидно-коровых формаций. Широким развитием и литологическим разнообразием СГ характеризуются месторождения огнеупорных глин в нижнем карбоне Восточно-Европейской платформы³. Именно с изучением нижневизейских СГ из карьеров и рудников Боровичей и Любытино (П.А. Земятченский, Н.С. Курнаков, С.С. Уразов, В.В. Гончаров и др.), а также многочисленных среднекаменноугольных (пенсильванских) месторождений востока США связаны основные сведения о необычных свойствах и вещественном составе СГ. Неглубокое (приповерхностное) залегание

³ С маложелезистыми СГ, в частности, связано наиболее качественное огнеупорное сырье знаменитых в прошлом Боровичских и Любытинских месторождений в Новгородской области, оккупация которых летом 1941 г. поставила в весьма сложное положение отечественную металлургию (советские геологи сумели в фантастически короткие сроки разведать и подготовить к эксплуатации месторождения огнеупорных глин на Урале).

этих отложений, вскрытых многочисленными естественными и искусственными обнажениями, благоприятствовало полноте изучения сухарных, полусухарных и пластических глин, связанных постепенными переходами (flintclays – semiflintclays – fireclays). Однако приуроченность СГ к зоне аэрации и свободного водообмена способствовала полной утрате некоторых важнейших сингенетических признаков (весьма нестабильных биогенных форм), в связи с чем на протяжении 150 лет их происхождение оставалось загадкой.

В отличие от обычных осадочных глин, типичные разности СГ — это не размокающие в воде, очень прочные (хотя и с низкой твердостью) неслоистые породы с разнообразными метаколлоидными структурами. При преобладании светлоокрашенных и серых СГ они характеризуются большим цветовым разнообразием (фиолетовые, зеленоватые, охристо-желтые, красноцветные и пестроцветные разности). СГ легко выделяются по материалам геофизических исследований в скважинах благодаря необычным для глин: прочностным свойствам (механический каротаж, кавернометрия); высоким электрическим сопротивлениям (при сохранении обычных «глинистых» положительных аномалий потенциала собственной поляризации) (электрокаротаж); аномально высокой, преимущественно ториевой радиоактивности (гамма-каротаж и γ -спектрометрия); значительной акустической жесткости (акустический каротаж). Последнее позволяет также выделять толщи с повышенной ролью СГ на сейсмических временных разрезах.

Минералогия СГ при ее значительном разнообразии весьма специфична. Данные комплексного (рентгеновская дифрактометрия, электронография, инфракрасная спектроскопия, дифференциально-термический анализ, электронная микроскопия) изучения минерального состава разновозрастных (девон, карбон, юра) СГ различных регионов (Днепровско-Донецкая и Припятская впадины, Воронежская антеклиза и другие регионы Восточно-Европейской платформы, Тиман, Западный Урал, Западная и Восточная Сибирь)

свидетельствуют в целом о преобладании в их составе каолинита различных политипов [4]. Общей чертой всех СГ является присутствие моноклинного каолинита несовершенной структуры, содержание которого в породе может колебаться от 5 до 90%. В геологически молодых СГ, которые образуются в неоген-четвертичных корах выветривания вследствие процессов ресилификации бокситов, большую роль, наряду с каолинитом, играет галлуазит. По-видимому, так было и в более древних СГ, однако из-за метастабильности галлуазита он затем переходил (через метагаллуазит) в моноклинный каолинит [4]. В широких пределах (0–90%) меняется содержание хорошо окристаллизованного триклинного каолинита с высокой степенью структурной упорядоченности, гидрослюд, а также железистых хлоритов и разнообразных смешанослойных минералов. В красно- и пестроцветных СГ значительную роль играют гетит, гидрогетит и другие минералы окисного железа. Кроме того, довольно часто в различных по цвету и облику СГ встречается небольшая (0,5–5%) примесь минералов свободного глинозема (гиббсит, бемит, диаспор). Широко, хотя и резко неравномерно, в составе СГ распространен сидерит (углекислое железо, присутствие которого является важным генетическим показателем и в то же время отрицательным технологическим фактором при использовании СГ как огнеупоров).

Своеобразна не только минералогия, но и **геохимия СГ**. Наиболее типичные их разности отличаются резко пониженными (вплоть до следовых) содержаниями щелочных и щелочноземельных элементов при максимальной для глин обогащенности их алюминием. Содержание Al_2O_3 в существенно каолиновых СГ с примесью минералов свободного глинозема достигает 42–45%. Повышенные, нередко аномально высокие концентрации характерны и для других элементов-гидролизатов: титана, галлия, циркония, гафния, ниобия, тантала, тория, а также скандия, лантана, церия, иттрия, иттербия. Повышенные содержания ванадия, хрома, урана, никеля, кобальта, которые характерны для пестроцветных разностей СГ, отра-

жают другую особенность их формирования — возникновение окислительно-восстановительных и сорбционных биогеохимических барьеров при явлениях «осушаривания». СГ часто характеризуются повышенными концентрациями золота, что обусловлено как унаследованными геохимическими особенностями конкретных типов субстрата СГ (в частности, первичных и вторичных каолинов), так и биогенными факторами «осушаривания».

К характерным спутникам СГ относятся элювиальные и осадочные бокситы, разнообразные глиноземно-железистые породы — ферриаллиты, первичные и вторичные каолиниты, кварцевые песчаники (часто с погребенными россыпями тяжелых минералов Au, Ti, Zr, Th, РЗЭ и др.). Появление первых типичных СГ связано с силурийскими и девонскими элювиальными бокситами и латеритами (Северный Урал, Пиренеи и др.). Они образовались вследствие частичного или полного замещения минералов свободного глинезема (бёмит, диаспор, гиббсит) минералами группы каолинита (метагаллуазит — моноклинный каолинит — триклинный каолинит), что сопровождается осветлением красноцветных бокситов, появлением метаколлоидных признаков и характерных для СГ структурно-текстурных и петрофизических свойств. Эти же явления характерны для верхнедевонских бокситов и латеритов, география распространения которых резко расширяется (Урал, Тиман, Припятская впадина, крайний северо-запад Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ), Львовский прогиб и др.).

На рубеже девона и карбона в Припятско-Днепровско-Донецком, Печоро-Колвинском авлакогенах, в Уральском Прикамье и других регионах появляются толщи переслаивания красно- и пестроцветных СГ с кварцевыми песчаниками и разнообразными пелитоморфными породами (элювиальными и осадочными бокситами, первичными и вторичными каолинитами, каолинит-гидрослюдистыми глинами и т.п.). С различной степенью «осушаривания» последних и связано образование сухарных и полусухарных глин в позднем девоне и карбоне. Таким образом, не только существенно рас-

ширяется география распространения СГ, но и диверсифицируется субстрат, на котором они формируются. СГ выходят за пределы кор выветривания на прибрежно-морских рифтогенных уступах и плакорах. Начинается их экспансия в обширные области континентальной седиментации. На протяжении турне и раннего визе ареалы распространения СГ-содержащих аллювиальных и озерно-болотных фаций неуклонно расширяются. В радаевское, бобринское и раннетульское время (ранний визе) они покрывают практически всю территорию Восточно-Европейской платформы (более 5,5 млн км²).

Это характерно и для Сибирской платформы. На обширной территории ее юго-западной части и Алтае-Саянского обрамления широко распространены содержащие СГ визейские отложения, с которыми связан ряд месторождений огнеупорных глин. В то же время палеогеографические и палеотектонические реконструкции показывают, что ее остальная часть была покрыта гумидными корами выветривания с ресилификационными СГ. Это относится также к Китайской и другим докембрийским платформам (обширные регрессии в турне — первой половине визе, широкое развитие останцов гумидных кор выветривания и континентальных кварцево-каолиновых песчано-глинистых отложений с СГ).

В позднем визе вследствие грандиозной окской морской трансгрессии на основной части территории Восточно-Европейской платформы терригенное кварцево-каолиновое континентальное осадконакопление сменяется морским карбонатообразованием, которое продолжается вплоть до конца карбона. Процессы образования СГ здесь прекращаются. Лишь в угленосных паралических формациях Донбасса и ДДВ встречаются их включения среди подугольных пород. В то же время на Северо-Американской платформе наблюдается обратное явление. Если в раннем карбоне (миссисипий) здесь повсеместно накапливались морские известняки и черные сланцы (black shales), то в среднем — позднем карбоне (пенсильваний) на смену им приходит накопление

аллювиально-дельтовых и озерно-болотных угленосных отложений. Именно с пенсильванским связано большинство знаменитых месторождений огнеупорных глин (флинтклеи — семифлинтклеи — файерклеи) восточных штатов США (Огайо, Пенсильвания, Кентукки и др.). В отличие от ранневизейских СГ Восточно-Европейской платформы средне-верхнекаменноугольные флинтклеи Северо-Американской платформы, а также угленосных бассейнов Европы и Азии обнаруживают устойчивую парагенетическую связь с угленосностью, залегающая среди «подугольных» глин. Однако масштабы формирования СГ в среднем — позднем карбоне в целом несопоставимы с ранним карбоном и, в частности, с первой половиной визейского века, когда общая площадь их распространения составляла не менее половины территории земной суши. К концу карбона СГ почти полностью исчезают, сохраняясь лишь в виде редких спорадических включений в пермских, триасовых и раннеюрских угленосных формациях Казахстана, Западной Сибири, Китая.

Необратимый характер эволюции осадочно-породообразования, которая сопровождается исчезновением ряда специфических типов пород, хорошо иллюстрируется на примере распространения СГ в пределах Восточно-Европейской платформы. На протяжении фанерозоя здесь по крайней мере трижды (в раннем — среднем визе, раннем мелу и в конце олигоцена — начале миоцена) возникали сходные палеогеографические обстановки гумидного континентального литогенеза, в которых формировались близкие породные парагенезы (каолиновые глины, кварцевые песчаники). Однако, если в раннем — среднем визе СГ распространены практически на всей территории платформы, то в раннемеловых и олигоцен-миоценовых отложениях они отсутствуют.

Загадка происхождения сухарных глин

Интерес к проблеме происхождения СГ, помимо необычного характера облика и свойств, обусловлен их парагенетическими связями с

бокситовыми, каолиновыми и углями. Существует более десятка концепций происхождения СГ, большинство из которых подробно охарактеризовано в известной монографии В.В. Гончарова [5]. Однако ни одна из них не в состоянии объяснить всю совокупность свойств, условий залегания и особенностей распространения СГ. Это относится не только к тем представлениям, ошибочность которых вполне очевидна (гидротермальный генезис СГ, роль больших давлений в их формировании и т.п.), но и к представлениям, популярным вплоть до настоящего времени. Так, в некоторых современных работах, посвященных характеристике включений СГ среди пород почвы и подпочвы угольных пластов, делаются попытки реанимировать наиболее старую концепцию их генезиса, предложенную более 150 лет тому назад Дж. Уортеном. Изучая месторождения штата Огайо в угленосных отложениях пенсильванского, он предположил, что обогащение глин каолинитом (с появлением комплекса вышеохарактеризованных специфических свойств) обусловлено «облагораживающим» воздействием на осадки корней углеобразующих растений. Ошибочность таких представлений доказывается не только широким распространением в девоне и раннем карбоне СГ, не связанных с угленосностью, но и непосредственными наблюдениями условий залегания СГ среди угленосных отложений и их взаимоотношениями с угольными пластами (рис. 1). В ряде случаев корневые остатки растений-углеобразователей пронизывают и включения СГ, и вмещающие их породы. Это однозначно свидетельствует о том, что СГ сформировались до начала процессов углеобразования.

По-прежнему популярны представления о формировании СГ за счет коллоидных растворов, выносимых в процессе выветривания различных алюмосиликатных пород. СГ при этом рассматриваются как результат коагуляции и соосаждения гелей кремнезема и глинозема в широком фациальном диапазоне: от временных потоков овражно-балочных систем, рек, озер и болот до дельт и лагун. Однако с позиций первично-осадочного генезиса СГ нельзя

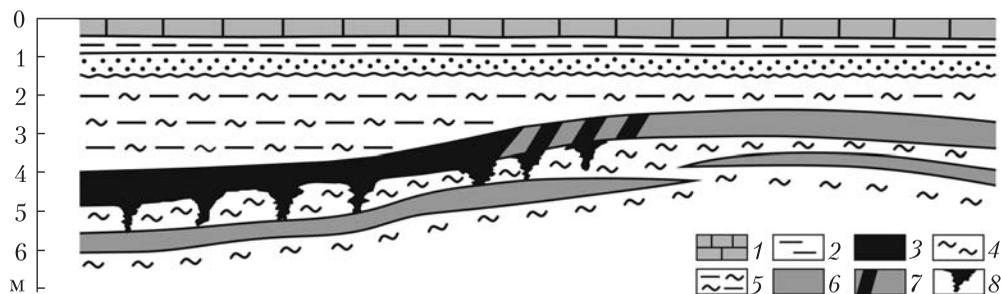


Рис. 1. Взаимоотношение автохтонных углей и СГ в верхневизейско-серпуховской паралической угленосной формации Днепроовско-Донецкого авлакогена: 1 — известняки; 2 — глины, аргиллиты; 3 — угли; 4 — алевролиты; 5 — алевроглинистые породы; 6 — СГ; 7 — углистые СГ; 8 — неслоистые породы почвы автохтонных углей с корневыми остатками (кучерявчик)

объяснить их текстурные особенности (в частности, отсутствие слоистости) и наблюдаемые фациальные соотношения с бокситами и угленосными отложениями.

Более обоснованными являются представления В.В. Гончарова [5] о ведущей роли в формировании СГ процессов гидролиза, обусловленного промыванием осадков проточными кислыми водами (ручьи, реки, проточные болота и озера). Они были развиты Г.И. Бушинским, который разработал общую концепцию «проточного диагенеза» [6]. Однако она не позволяет объяснить особенности стратиграфического распределения СГ. Палеогеографические предпосылки для процессов проточного диагенеза возникали неоднократно. Но почему именно первая половина визейского века (а не ранний мел или конец олигоцена — начало миоцена) стала эпохой необычайно широкого развития СГ? Впрочем, этот вопрос не находит ответа и во всех известных вариантах объяснения их генезиса.

Автор, впервые описавший уникальные по мощностям, литогенетическому разнообразию и глубинам залегания толщи СГ на северо-западе Припятско-Днепроовско-Донецкого авлакогена, заинтересовался данной проблемой после открытия новых нефтегазоносных комплексов в нижнем карбоне ДДВ. Оказалось, что СГ представляют собой совершенно новый тип покрышек нефтяных и газовых залежей. Одни их разновидности, соответствующие по своим свойствам флинткляем — semifлинткляем —

файеркляем, являются надежными экранами не только для нефти, но и для газа. Другие, представленные типичными «сухарями», обладают ярко выраженными сепарационными свойствами, пропуская газообразные и задерживая жидкие углеводороды. При комплексном изучении СГ по керну глубоких скважин удалось установить ряд ранее неизвестных генетических признаков. Прежде всего была установлена причина их высокой прочности. Обычные пластичные глины, как отмечал еще основоположник механики грунтов К. Терцаги, обладают свойствами абсолютно неупругого тела. Если исключить чисто экстремальные условия (например, обжиг при вулканизме и др.), то глины приобретают повышенную прочность и теряют способность к размоканию в воде в тех случаях, когда слагающие их пластинчатые частицы филлосиликатов скрепляются между собой различными минералами. Это могут быть карбонаты, разные минеральные формы кремнезема (переход глин в аргиллиты при катагенезе), а также сульфаты, оксиды железа и др. Данные электронномикроскопического сканирования разнообразных СГ свидетельствуют о том, что все их свойства обусловлены наличием более или менее обильных межкристалльных каолиновых «спаек», цементирующих первоначально рыхлые пелитоморфные микрочешуйчатые агрегаты (рис. 2, а—г). Изучение большого количества образцов разновозрастных СГ из разных регионов, разнообразных по условиям залегания, литогене-

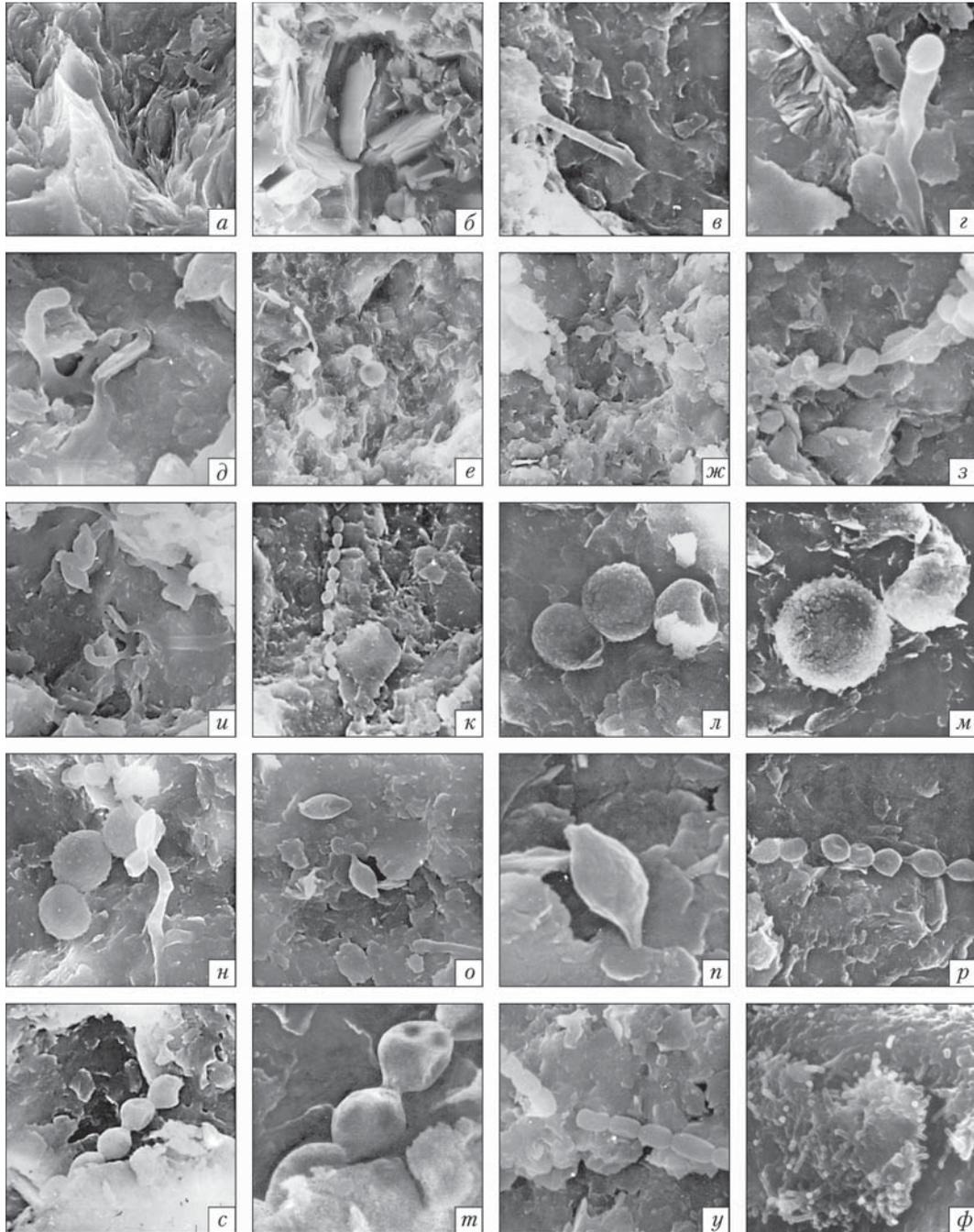


Рис. 2. Структуры и ультрамикророссыли СГ (*a–y* – объекты в СГ из турнейско-ранневизейских отложений Днепровско-Донецкой впадины по керну глубоких скважин Ярошевской, Великобубновской, Талалаевской, Бугреватовской, Журавковской, Прилукской площадей, в интервале глубин 1500–5000 м; *ф* – нижнеюрская СГ, Среднеширотное Приобье, Асомкинская скв. 7, 2110–2115 м) по данным СЭМ (JEOL, $\times 1500–10000$): *a, б* – чешуйчатая и ячеистая структуры каолиновых агрегатов; *в, г* – псевдоморфозы несовершенного коллоидного каолинита по гифам и мицелию грибов, актиномицетов; *д–к* – взаимоотношения кристаллических, микрочешуйчатых структур каолиновых агрегатов и разнообразных ультрамикророссылий (спор грибов, актиномицетов, бактерий); *л, м* – спорангиоспоры зигомикетов; *н* – спорангиоспоры зигомикетов, базидиоспоры и гифы базидиомикетов; *о, п* – лимонovidные базидиоспоры; *р–y* – споры актиномицетов *Streptomyces*; *ф* – мицелий актиномицетов (?)

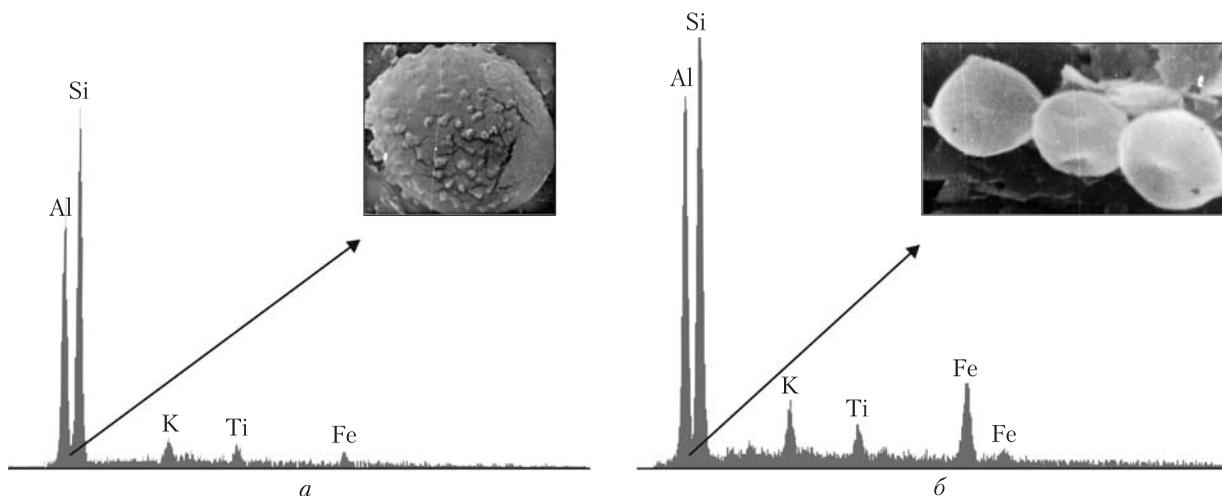


Рис. 3. Аломосилкатный (каолининовый) состав ультрамикрочисел по данным энергодисперсионного анализа (РЭМ-106 с рентгеноспектральным зондом): *а* — спорангиоспора зигомикетов; *б* — споры актиномицетов *Streptomyces*

тическим особенностям и минеральному составу, показало, что во всех случаях «осушаривание» представляет собой раннее окаменение различных существенно пелитоморфных образований (элювиальных бокситов и каолинов, вторичных каолинов, осадочных бокситов и др.) под влиянием кристаллизующегося из аллофановых гелей через ряд промежуточных метастабильных фаз кристаллически несовершенного моноклинного каолинита [4]. Однако лишь электронномикроскопическое изучение СГ по керну глубоких скважин в ДДВ впервые позволило установить микробиоминеральную природу этого явления. Последующее изучение девонских, каменноугольных и нижнеюрских СГ по керну скважин, пробуренных в Волго-Уральской, Тимано-Печорской, Западно-Сибирской (Среднеширотное Приобье) нефтегазоносных провинциях (глубины 1–2,5 км), подтвердили ее. При этом следует отметить, что самая хорошая сохранность фоссиллизованной микрофлоры наблюдается в СГ из турнейских (включая переходные между девоном и карбоном слои) и нижневизейских отложений ДДВ, залегающих на глубинах 2–5,5 км. Заметим, что благодаря раннему (фактически изначальному) окаменению сами СГ не подвергались последующему уплотне-

нию. Залегание этих отложений под мощной (2–3 км и более) верхневизейско-серпуховской паралической угленосной формацией свидетельствует о том, что решающую роль в высокой степени ее сохранности сыграли не только специфические застойные гидрогеологические условия на больших глубинах, но и быстрое погружение в зону затрудненного и весьма затрудненного водообмена.

Так, было установлено, что новообразованные цементирующие каолининовые и железисто-глиноземисто-каолининовые агрегаты СГ в целом представляют собой не псевдомицеллярные образования, а фоссиллизованный мицелий. В его составе, благодаря раннему окаменению СГ и их быстрому погружению, сохранились остатки многочисленных гифов, разнообразных спор и конидий различных грибов (включая *Penicillium*), актиномицетов и стрептомицетов, среди которых отмечены гладкие споры *Streptomyces*, спорангиоспоры грибов-зигомикетов, разнообразные зигоспоры и базидиоспоры (включая лимоновидные базидиоспоры), мицеллярные образования и отдельные гифы стрептомицетов и актиномицетов (рис. 2, *д–ф*). В ряде случаев степень сохранности этих фоссиллизованных каолинитом остатков микроорганизмов оказалась

столь высокой, что они в деталях соответствовали спорам современных микроорганизмов на ЭМ-фотографиях в известных руководствах по микробиологии почв [7, 8]. Кроме того, в пестро- и красноцветных разностях СГ широко распространены разнообразные проблематичные ультрамикророссы, в частности близкие к железобактериям *Metallogenium*.

В 1983 г. автор показал фотографии СГ с остатками микрофлоры академику Е.Н. Мишустину. Этот крупнейший специалист по почвенной микробиологии, подтвердив правильность сделанных определений, сказал, что «во избежание ложной сенсации» необходимы специальные доказательства аутентичности микрофлоры, т.е. ее ископаемого характера. У автора и тогда в этом не было сомнений. Помимо наблюдений над взаимоотношениями этих форм с минеральными агрегатами такая уверенность базировалась на большом опыте электронномикроскопических исследований разнообразных пород. В частности, при изучении экранирующих свойств пород-покрышек нефтяных и газовых залежей было просмотрено несколько тысяч фотографий самых различных глин и аргиллитов. И ни современной, ни ископаемой актиномицето-грибной биоты не было обнаружено. Более того, они никогда не отмечались и в СГ из обнажений, карьеров и рудников, хотя условия для современного микробиологического заражения здесь несравненно благоприятнее, чем в керне глубоких скважин, который обычно изучался сразу после его отбора. Да и в СГ из керна глубоких скважин fossilized остатки этой ультрамикробиоты хорошей сохранности встречаются редко. Ведь СГ часто обладают высокой пористостью и значительной проницаемостью, благодаря чему состоящие из каолинита ультрамикророссы, расположенные внутри пор, еще на стадии седиментогенеза под влиянием инфильтрующейся или конденсирующейся палеоатмосферной влаги легко утрачивают свои ажурные формы и переходят в каплевидные натечные образования. Вот таких деградированных остатков микрофлоры (наряду с гифоподобными тяжами) в СГ

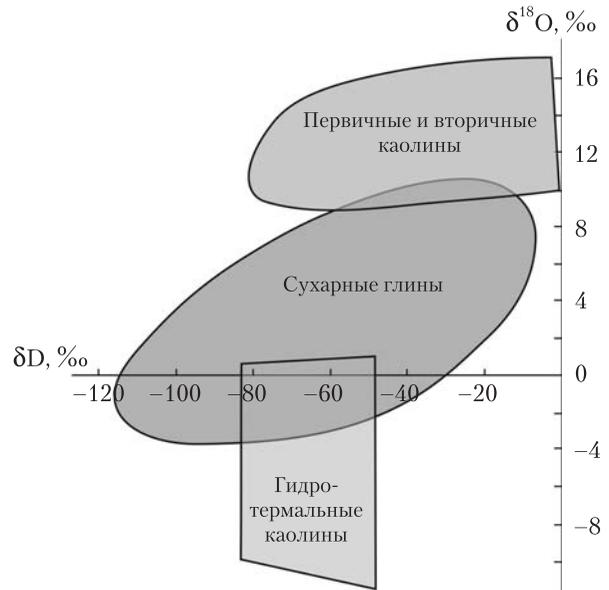


Рис. 4. Изотопно-геохимическая диаграмма (δD — $\delta^{18}\text{O}$) каолинита СГ и различных генетических типов каолинов

всегда очень много. Ископаемый, сингенетичный изучаемым объектам характер остатков микрофлоры подтверждается рядом прямых и косвенных доказательств. Прежде всего, это данные изучения вещественного состава гиф, спор и конидий с помощью энергодисперсионного анализа рентгеноспектрального зондирования (рис. 3), свидетельствующие о том, что мы имеем дело преимущественно с каолинитовыми (Si, Al), реже железисто-каолинитовыми (Si, Al, Fe) псевдоморфозами. Об этом же говорят и часто наблюдаемые непосредственные их переходы в чешуйчатые и вермикулитовые агрегаты вещества СГ.

Важное независимое доказательство биогенной природы СГ получено в результате изотопно-геохимических исследований. Установлено, что осушаривание сопровождается значительным фракционированием изотопов кислорода и водорода минерального вещества исходного глинистого субстрата, благодаря чему поле СГ на диаграмме $\delta^{13}\text{C}$ — δD существенно смещено относительно поля первичных и вторичных каолинов (рис. 4). Это свидетельствует о том, что формирование СГ проис-

ходит при воздействии на вещество субстрата кислых растворов, насыщенных метаболитами (CO₂, органические кислоты и др.) аэробной бактериально-актиномицето-грибной ассоциации, т.е. обусловлено процессами биогидролиза. Об этом свидетельствует и аномально легкий изотопный состав углерода сидерита СГ [4].

Таким образом, формирование СГ связано не с чисто физико-химическими процессами промывного гидролиза, а с микробиологическими почвообразующими процессами разложения органического вещества и интенсивного гидролиза первичного минерального вещества продуктами жизнедеятельности грибов, стрепто- и актиномицетов. Этот процесс происходил в широком диапазоне континентальных фаций, затрагивая латериты (для красноцветных латеритоподобных СГ характерно присутствие, наряду с актино- и стрептомицетами, обильных остатков железобактерий) и первичные каолины, продукты делювиального переотложения кор выветривания (вторичные каолины, осадочные бокситы), речные и озерно-болотные отложения аллювиально-наземнодельтовых равнин. При этом наблюдаются закономерные изменения в составе микрофлоры. Такой генезис объясняет как весь комплекс необычных литологических, петрофизических и минералого-геохимических особенностей СГ, так и закономерности их стратиграфического и палеогеографического распространения. Это позволяет отнести СГ к новому типу биолитов, благодаря чему они приобретают значение глобального палеобиосферного индикатора.

В июне 2003 г. результаты изучения природы сухарных глин были доложены автором на Международном симпозиуме «Биокосные взаимодействия: жизнь и камень» (Санкт-Петербург), в работе которого принимал участие академик Г.А. Заварзин — признанный авторитет в сфере исторической геомикробиологии. Георгий Александрович отнесся с живейшим интересом к результатам этих исследований, подтвердил аутентичность ископаемой сиаллитно-почвенной микрофлоры и высоко оценил значение этих данных для понимания

закономерностей освоения суши высшими растениями. Более того, он считал возможным включить их в свои «Лекции по природоведческой микробиологии» [9, с. 321–323].

Возникновение «сухарно-глинистой» ассоциации почвенных микроорганизмов и ее сукцессии

Споры и конидии различных грибов и актиномицетов хорошей сохранности установлены в СГ в основном по ядру глубоких скважин в верхнедевонско-нижнекаменноугольных отложениях Днепровско-Донецкого авлакогена. Однако данные сравнительных электронномикроскопических исследований разновозрастных (средний девон — кайнозой) СГ из различных регионов свидетельствуют о том, что во всех случаях их свойства обусловлены фоссилизованными (аллофаны → галлуазит → метагаллуазит → моноклинный каолинит) гифами и мицелием грибов и стрептомицетов. Первые достоверные проявления процесса «осушаривания» отмечены в верхнесилурийских и девонских железисто-каолиновых бокситоносных корах выветривания и продуктах их переотложения (различные районы Урала и Пиренеев). Весьма знаменательное хроностратиграфическое совпадение появления СГ и первых углей (Кузбасс, Шпицберген и др.) позволяет по-новому взглянуть на описанную М.Д. Залесским свыше 80 лет назад ископаемую (углефицированную) ассоциацию грибов, актиномицетов и бактерий в среднедевонском водорослевом угле Барзасского месторождения [10, 11], аутентичность которой ставилась под сомнение некоторыми современными специалистами по почвенной микробиологии.

Многочисленные остатки гиф, спор и спорангий ископаемых грибов и других микроорганизмов были описаны В.О. Таусоном в девонских, карбоновых и меловых углях [12]. При этом он упоминает [12, с. 102] об ископаемой микрофлоре, найденной М.Д. Залесским на «*полуразложившихся остатках*» водорослей в богхедовом угле из Кузбасса, и в качестве независимого подтверждения истинности ее суще-

ствования приводит иллюстрированное описание кремневых остатков грибов в девонском сланце с Медвежьих островов («*окремневшие остатки грибов в углефицированных и частично кремневых остатках первобытного наземного растения*») и в девонском песчанике с о. Шпицберген, где «*в разложившихся, а затем кремневых клетках водорослей были найдены во множестве тоже кремневые остатки двух грибов. Внешний вид и строение их заставляют думать, что один из них является родоначальником дрожжей, а другой — очень отдаленным предком плесневых грибов*» [12, с. 103].

Таким образом, результаты пионерных исследований М.Д. Залесского и В.О. Таусона, описания остатков микроорганизмов в тонштейнах угольных пластов карбона Англии (Л. Мур) и юры Черемховского бассейна (С.С. Чекин) и, наконец, открытие уникальной по сохранности, но не углефицированной или кремневой, как в предыдущих случаях, а каолинизированной микрофлоры СГ можно рассматривать как независимые подтверждения существования разновозрастной ископаемой ассоциации плесневых грибов, актиномицетов и бактерий. Общеизвестна ведущая роль этой ассоциации в современном торфо- и почвообразовании. Появление первых признаков ее глобальной биогеохимической деятельности — латерито- и углеобразования — достаточно уверенно датируется началом среднего девона (отдельные представители входящих в ее состав различных групп микроорганизмов неоднократно появлялись на разных этапах развития позднепротерозойской и раннепалеозойской биоты, но не могли заселить сушу, занятую цианобактериальными сообществами).

Плесневые грибы и актиномицеты, как известно, предпочитают рыхлые субстраты с повышенной газо-, влагопроницаемостью и относительно пониженными или нейтральными рН. Именно в таких условиях они получают решающее преимущество по сравнению с другими сообществами микрофлоры, в чем велика роль явления фунгиотоксичности, характерного для кислых почв [8, 13, 14]. Вот почему первичные и вторичные каолины стали для

них благоприятным субстратом. В то же время для цианобактериальных матов каолинит — слоистый алюмосиликат, лишенный катионов калия, натрия, кальция, магния и железа, играющий буферную роль физико-химического стабилизатора среды, — является наименее благоприятной минеральной средой.

Кроме того, важную роль сыграла повышенная устойчивость плесневых грибов и актиномицетов к радиоактивному излучению. Эта их удивительная особенность хорошо изучена в последние годы при проведении комплексных экологических исследований в зоне Чернобыльской аварии (Н.Н. Жданова и др.). Выяснилось, в частности, что по радиорезистентности они не имеют равных среди других групп организмов. Впервые установлено явление положительного радиотропизма, которое выражается в способности некоторых почвенных плесневых грибов (*Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium roseo-purpureum* и др.) активно расти на «горячих» частицах — продуктах дробления ядерного топлива при тепловом взрыве [15]. Радиорезистентность бесспорно давала плесневым грибам и актиномицетам большие дополнительные преимущества в освоении кор выветривания, поскольку каолиновый и железисто-глиноземный элювий отличаются повышенной фоновой радиоактивностью (за счет высоких концентраций тория, а также локальных концентраций урана на окислительно-восстановительных и сорбционных барьерах). Таким образом, радиотропизм мог быть фактором закрепления привносимых различными способами (бризы, штормовые заплески и др.) спор грибов и актиномицетов в корях выветривания на прибрежных уступах.

Главную же роль в освоении суши грибами и актиномицетами сыграли их свойства, детально охарактеризованные в известных работах З. Ваксмана, Н.А. Красильникова, И.П. Бабьевой, Т.Г. Мирчинк и др. Это высокая скорость роста и размножения, уникальная генетическая изменчивость в сочетании со способностью существовать в очень широком диапазоне всех основных параметров среды (температуры и давления, рН, парциальные давления кислоро-

да и CO_2 , влажность и др.). Плесневые грибы и актиномицеты, как известно [8, 13, 14], хорошо усваивают минеральный азот, разнообразные органические соединения (включая клетчатку, парафины, ароматические углеводороды и др.). Поэтому источники их питания изначально были весьма разнообразны — от органики выветривающихся пород (включая черные сланцы, гипергенез которых сопровождается резким снижением рН) и осушающихся илов до циано- и альгобактериальных матов — до углеводов различной природы (газово-жидкие включения в минералах материнских пород, разнообразные скопления нафтидов, флюиды дегазации земных недр). Мицелиальное строение обеспечивает высокую степень контакта грибов и актиномицетов с субстратом и качественно иной уровень его энергетического состояния по сравнению с пленочными цианобактериальными сообществами. Кроме того, важнейшим фактором в борьбе с ними является общеизвестная способность грибов и актиномицетов вырабатывать антибиотики.

Решающую роль в экспансии бактериально-актиномицето-грибной микрофлоры сыграла ранне-среднепалеозойская эпоха гумидного выветривания. С ней связано формирование наиболее мощных гумидных каолиновых и бокситоносных кор выветривания пород докембрийских кристаллических щитов и древних (байкальских, каледонских) складчатых систем, продукты переотложения которых в виде делювиальных и аллювиально-дельтовых осадков (вторичные каолины, каолиновые глины, кварцевые пески) занимали огромные территории.

Раннекаменноугольная эпоха формирования сухарных глин как особый этап эволюции биосферы

В широком стратиграфическом диапазоне существования СГ резко выделяется максимум их развития, начало которого приурочено к турнейскому, а завершение — к середине визейского веков. Поэтому, наряду с эпохами образования других биолитов, есть все основа-

ния для выделения эпохи СГ в раннем карбоне (рис. 5). В это время кислые сиаалитные палеопочвы (и активные илы) занимали не менее половины территории земной суши и играли роль глобального биосферного фактора. Заселенные бактериально-актиномицето-грибной микрофлорой и лишенные высшей растительности, они были, возможно, самым мощным, к тому же наиболее чистым источником CO_2 в истории нашей планеты. Интенсивная сидеритизация мощных красно- и пестроцветных толщ СГ на рубеже девона и карбона хорошо согласуется с экспериментальными данными по активным илам и с резким усилением интенсивности углекислого дыхания в период адаптации их микрофлоры [16].

Современная атмосфера, судя по различным независимым литолого-геохимическим и биологическим критериям, существует с начала фанерозоя и является результатом совместного действия двух основных факторов: фотосинтеза (цианобактерии — водоросли — высшие растения) и дыхания грибов и бактерий [2]. Специфика эпохи образования СГ заключается в том, что на сравнительно кратковременном (около 5 млн лет) этапе роль второго фактора резко возросла. Это было обусловлено инвазией бактериально-актиномицето-грибного сообщества (существенно опередившей расселение на суше высших растений) и, соответственно, резким сокращением роли циано-альго-бактериальных сообществ. В составе атмосферы резко возрастает парциальное давление CO_2 и возникает наиболее мощный в фанерозое парниковый эффект. Обычно главным фактором таких явлений в истории Земли принято считать CO_2 вулканического происхождения (работы Д.Н. Соболева, В. Руби, А.Б. Ронова, М.И. Будыко и др.). Однако в эпохи наиболее интенсивного вулканизма пыль в атмосфере создает «антипарниковый эффект». Кроме того, следует учитывать выделение в больших объемах сернистого ангидрида, азота и его оксидов, водорода (при подводных извержениях). Поэтому суммарный вулканогенный эффект по своему влиянию на состав атмосферы, биоту и

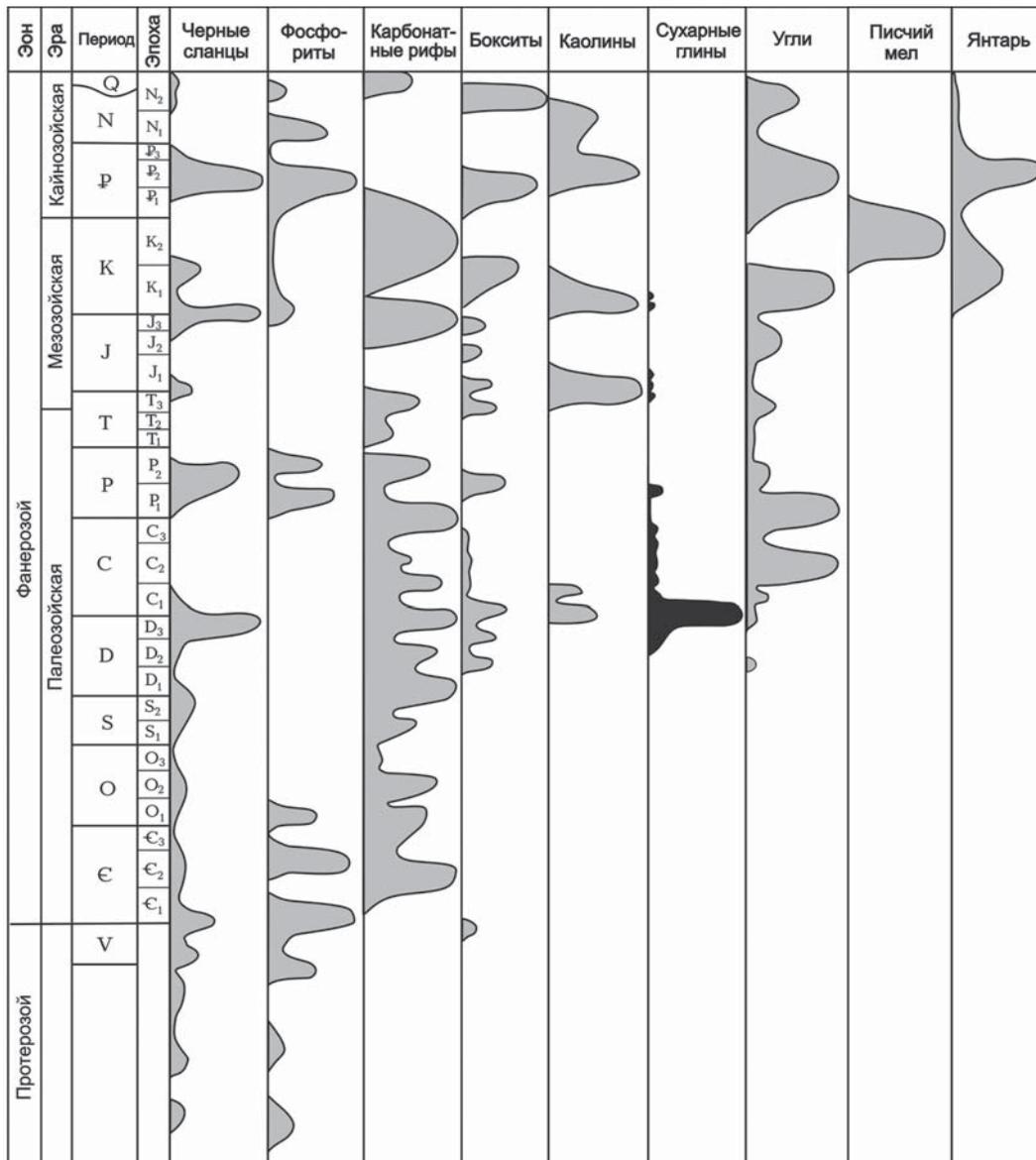


Рис. 5. Эпохи образования различных биолитов, включая СГ

седиментацию является далеко не однозначным. Длительная постоянная эмиссия CO₂ бактериально-актиномицето-грибной микрофлорой с огромных, еще не «озелененных» территорий, покрытых голыми сероцветными сиаллитными почвами с пониженным (0,1–0,3) альбедо [17], являлась гораздо более эффективным фактором парникового эффекта.

В свете вышеизложенного получает рациональное объяснение давно установленная

палеонтологами и литологами палеоклиматическая уникальность раннего карбона. Это единственная эпоха палеозойской эры, характеризующаяся исчезновением климатической зональности и глобальным влажным тропическим климатом. «Оранжевые» условия в раннем карбоне были исключительно благоприятны для бурного развития разнообразной биоты, как в море, так и особенно на суше. Следует отметить их влияние на морские и земно-

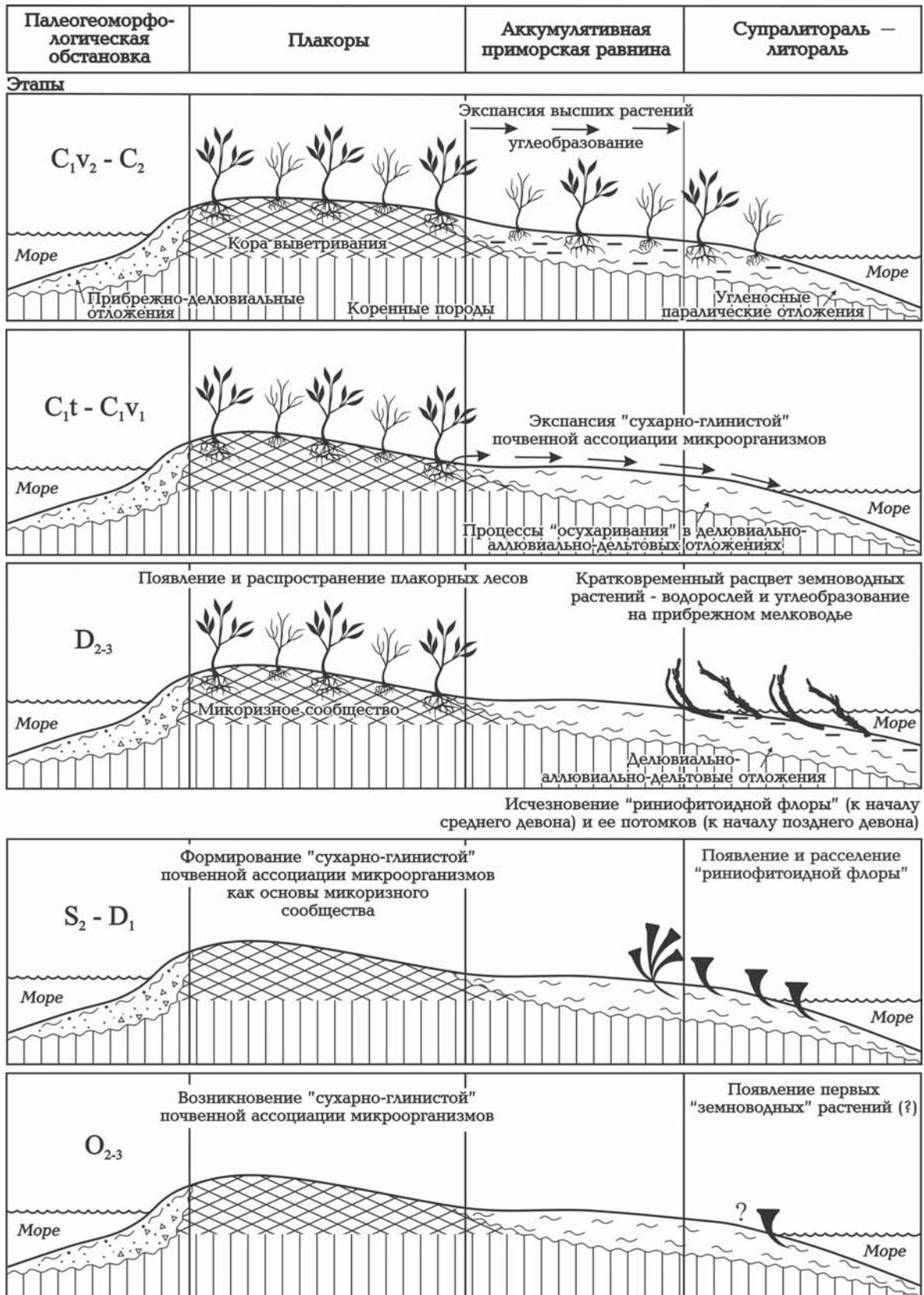


Рис. 6. Принципиальная схема возникновения на суше микоризного сообщества и заселения суши высшими растениями

водные организмы с повышенной потребностью в кислороде. Высокие P_{CO_2} , которые сочетались с наличием раннекарбонového максимума на кривой изменения массы кислорода в фанерозое [17], с одной стороны, были одной из побудительных причин для стимулирования попыток освоения ими суши, а с другой стороны, совместно с повышенными температурами прибрежных вод и воздуха, максимально сглаживали физиологические препятствия этого сложного процесса.

Представляется весьма вероятным, что завоевавшее сушу сообщество высших растений и грибов первоначально сформировалось именно в каолиновых корах выветривания, развитых на гранитоидах, гнейсах, кристаллических сланцах и других коренных породах прибрежных рифтогенных уступов (рис. 6). Ярким примером ископаемых фрагментов таких рифтогенно-уступных систем на границе «суша — море» является николаевская свита среднего девона (эйфель) на южной окраине Донбасса («белый девон»). Здесь у рифтогенного прибрежного уступа (с мощной гумидной корой выветривания на докембрийских гранитах и гнейсах) накопилась толща кварцевых гравелитов и песчаников (с прослоями близких к СГ каолиновых аргиллитов и известняков) делювиального и прибрежно-морского происхождения, которая содержит обильный углистый растительный детрит и остатки *p. Asteroxylon* — чрезвычайно важного для филогении высших растений суши соединительного звена между зостерофилловыми и плауновидными [1]. Здесь же Д.В. Обручевым установлена разнообразная ихтиофауна, включающая остатки кистеперых и двоякодышащих рыб. В вышележащих верхнедевонских пестроцветках наблюдается сочетание еще более богатой ихтиофауны (с кистеперыми и двоякодышащими рыбами) и разнообразных обильных остатков «археоптерисовой флоры».

Судя по условиям появления первых СГ в латеритно-каолиновом элювии (S_2-D_2) и археоптерисовых лесов на прибрежных палеорифтовых выступах в позднем девоне, именно этот тип кор выветривания сыграл роль «плац-

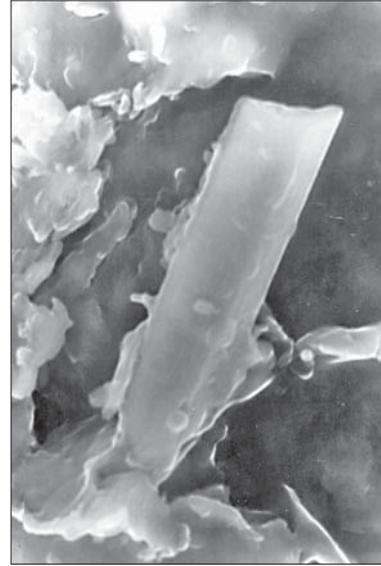


Рис. 7. Фоссилизированный корневой остаток с реликтами ПБАГМ в СГ из предкарбоновой феррисиллитной коры выветривания (Днепроовско-Донецкая впадина, Голиковская площадь, скв. 1, 4189–4196 м, СЭМ JEOL, $\times 1500$)

дарма» завоевания суши почвенной бактериально-актиномицето-грибной ассоциацией. По-видимому, подобные симбиозы, попадавшие благодаря бризам, приливам-отливам и штормовым заплескам на сушу, оказавшись на каолиновом субстрате, инициировали процесс выхода и закрепления растений на суше. Это подтверждается присутствием в некоторых образцах СГ из пестроцветных феррисиллитных предтурнейских кор выветривания пока, по-видимому, наиболее древних известных фоссилизированных остатков микоризы (рис. 7). На протяжении позднего девона и турне наземная растительность была сосредоточена на прибрежных поднятиях, а также по побережьям приустьевых участков некоторых крупных рек, впадавших во внутренние моря [1]. Решающее значение для освоения обширных пространств суши высшей растительностью имела ранневизейская инвазия почвенной бактериально-актиномицето-грибной ассоциации. Ее главной непосредственной причиной является необычайно широкое развитие на рубеже D—C и в начале карбона гумидных

кор выветривания и кварцево-каолиновых продуктов их переотложения на обширных континентальных пространствах. В истории биосферы это, бесспорно, одно из главных событий, которое определило дальнейший ход эволюции. Почвенно-микробиологическая ассоциация СГ, среди fossilized остатков которой отмечено присутствие типичных продуцентов антибиотиков (актиномицеты и, в частности, стрептомицеты, различные микроскопические грибы), «протравила» поверхность суши (включая как коры выветривания, так и продукты их переотложения), устранив главное препятствие ее освоения высшими растениями и животными в виде циано- и альгобактериальных сообществ. Интенсивное развитие кислого сialлитного почвообразования на обширных аллювиальных равнинах подготовило палеоэкологические предпосылки экспансии наземной растительности и интенсивного карбонового угленакпления.

Палеопочвы, реликтами которых являются СГ, стали важнейшим фактором коэволюции растений и насекомых, которая определила дальнейшую судьбу этой наиболее процветающей исключительно богатой видами группы (работы А.Г. Пономаренко, А.П. Расницина, Б.Б. Родендорфа и др.). Она же, в свою очередь, сыграла исключительную роль в освоении суши позвоночными, поскольку насекомоядность стала первичным способом питания для

их разнообразных групп, и ее значение «очень велико при многих важных процессах становления основных классов позвоночных — выходе амфибий на сушу, возникновении рептилий и их отрыве от водной среды, появлении млекопитающих» [18, с. 10].

Заклучение

Разгадка природы СГ, таким образом, имеет большое значение для дальнейшего развития учения о биосфере, выделенного Н.В. Тимофеевым-Ресовским в качестве самостоятельной научной дисциплины — «вернадскологии». Она, в частности, послужила основанием для сделанного Г.А. Заварзинным фундаментального вывода: «развитие этого грибного мира [речь идет о биоте, обнаруженной в СГ. — А.Л.] предшествовало появлению растительного покрова с его хорошо известными ранними микоризами на корнях древесных растений. Следующим этапом становится появление растительного покрова на суше с выходом фотосинтезирующей поверхности в атмосферу. Этот этап можно назвать «плантацией»... Цикл органического углерода существенно перестраивается» [9, с. 323]. Остается добавить, что, наряду с «плантием», мы имеем основания для выделения на рубеже девона и карбона предшествующего «плантию» весьма специфического этапа, который можно назвать «фунгий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мейен С.В. Основы палеоботаники. — М.: Недра, 1987. — 403 с.
2. Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы. — М.: Наука, 1984. — 192 с.
3. Заварзин Г.А., Крылов И.Н. Цианобактериальные сообщества — колодец в прошлое // Природа. — 1983. — № 32. — С. 59–68.
4. Лукин А.Е. Генезис сухарных глин и проблемы экологической минералогии // Минерал. журн. — 1993. — № 3. — С. 20–26.
5. Гончаров В.В. Огнеупорные глины Боровичско-Любытинского района. — М.: Металлургиздат, 1952. — 214 с.
6. Бушинский Г.И. О выветривании, промывном гидролизе и проточном диагенезе // Литология и полез. ископаемые. — 1977. — № 6. — С. 32–43.
7. Micro-organisms: function, form and environment / eds. R. Steynier, E. Edelberg, E. Ingrem. — London: Pergamon Press, 1975. — 575 p.
8. Руссель С. Микроорганизмы и жизнь почвы. — М.: Мир, 1977. — 250 с.
9. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии / отв. ред. Н.Н. Колотилова. Ин-т микробиологии. — М.: Наука, 2003. — 348 с.

10. *Залесский М.Д.* Естественная история одного угля // Тр. Геол. комитета. Новая сер. — 1915. — Вып. 139. — 75 с.
11. *Лапо А.В., Фисуненко О.П.* Жизнь и труды Михаила Дмитриевича Залесского // Ежегодник Всесоюз. палеонтол. об-ва. — 1987. — Т. 30. — С. 244–268.
12. *Таусон В.О.* Наследство микробов. — М.: Изд-во АН СССР, 1947. — 102 с.
13. *Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. — 248 с.
14. *Мирчинк Т.Г.* Почвенная микология. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. — 220 с.
15. *Жданова Н.Н., Редчиц Т.И., Крендесова В.Г. и др.* Тропизм почвенных микромицетов под влиянием радиоактивного излучения // Микология и фитопатология. — 1994. — Т. 28, № 5. — С. 8–13.
16. *Роговская Ц.И.* Биохимический метод очистки сточных вод. — М.: Стройиздат, 1967. — 140 с.
17. *Будыко М.И., Ронов А.Б., Яшин А.Л.* История атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 208 с.
18. *Родендорф Б.Б.* Значение насекомых в историческом развитии наземных позвоночных // Палеонтол. журн. — 1970. — № 1. — С. 10–18.

Статья поступила 14.01.2015.

О.Ю. Лукін

Институт геологических наук НАН Украины
вул. О. Гончара, 55-б, Київ, 01054, Україна

РОЗГАДКА ГЕНЕЗИСУ СУХАРНИХ ГЛИН — КЛЮЧ ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ОСВОЄННЯ СУШІ РОСЛИНАМИ

Відкриття фосилізованої каолінітою ґрунтової бактеріально-актиноміцето-грибної мікрофлори в сухарних глинах (флінткляях) дозволило виділити новий тип біолітів — глобальних біосферних індикаторів. Відповідні їм кислі (фери-) сialітні палеоґрунти, які виникли в силурі — девоні і набули надзвичайно великого поширення в ранньому карбоні (турне — ранньому візе), відіграли ключову роль в освоєнні суші вищими рослинами.

Ключові слова: сухарні глини, палеоґрунти, бактеріально-актиноміцето-грибна мікрофлора, освоєння суші вищими рослинами.

A. Lukin

Institute of Geological Sciences of National Academy of Sciences of Ukraine
55-b Gonchara St., Kyiv, 01054, Ukraine

SOLUTION OF GENESIS OF FLINT CLAYS — THE KEY TO DECISION OF CONTINENTS PLANTING PROBLEM

Discovery of soil bacteria-actinomycetes-fungi fossilized (with kaolinite) microflora in flint clays allowed to establish the new type of biolith — global biosphere indicators. Relevant acid (ferri-)sialite paleosoils appeared in Silurian-Devonian and gained wide distribution in Early Carboniferous. They were of great importance in planting of continents and land animals propagation.

Keywords: flint clays, paleosoils, bacteria-actinomycetes-fungi microflora, planting of continents.