Каменноугольная система и ее «золотые гвозди»

А.С.Алексеев, Н.В.Горева, Е.И.Кулагина, В.Н.Пучков

Как определить, какие породы образовались в определенный интервал времени в удаленных друг от друга древних морских бассейнах? Как найти одновозрастные слои, которые накапливались в морях и на суше в один и тот же период времени? Эти задачи решаются большим отрядом геологов — стратиграфами. На помощь им приходит палеонтология — наука об ископаемых остатках организмов, живших в ту или иную геологическую эпоху. По этим остаткам реконструируется внешний вид и внутреннее строение организмов, восстанавливаются их родственные связи, условия существования, образ жизни и место в истории эволюции всего живого на Земле. Учение об эволюции положено в основу и общих представлений о геологическом времени, и методических приемов, используемых стратиграфами при уточнении и совершенствовании относительной геологической шкалы.

Не все ископаемые организмы в равной степени ценны для стратиграфии. Выделяются так называемые ортостратиграфические группы: организмы, которые легко расселялись по земному шару, были в достаточной мере космополитны и при этом быстро эволюционировали, что отражалось в частых изменениях их морфологических признаков. На выделении видов-индексов, или групп характерных ви-

© Алексеев А.С., Горева Н.В., Кулагина Е.И., Пучков В.Н., 2010

Александр Сергеевич Алексеев, *доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры палеонтологии МГУ, заведующий лабораторией протистологии Палеонтологического института им. А.А.Борисяка РАН. Председатель Каменноугольной комиссии Межведомственного стратиграфического комитета России. Научная деятельность связана со стратиграфией фанерозоя.*

Наталья Валерьевна Горева, *кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией микропалеонтологии Геологического института РАН. Область научных интересов — палеонтология и стратиграфия карбона.*

Елена Ивановна Кулагина, *доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии Уфимского научного центра РАН. Специалист в области палеонтологии и стратиграфии карбона.*

Виктор Николаевич Пучков, *доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, директор Института геологии Уфимского научного центра РАН. Научная деятельность связана с исследованиями по геотектонике и стратиграфии докембрия и палеозоя Урала.*

дов, построена относительная шкала геологического времени.

Возраст Земли оценивается в 4.5—5 млрд лет. Это время разделено на интервалы по важнейшим событиям, отраженным в истории Земли. Породы, накопившиеся в течение определенного временного интервала, составляют геологический «этаж» и имеют определенное название. Имеется и временной эквивалент каждого такого этажа. Последовательность этих отрезков времени составляет шкалу геологического времени, или глобальную хроностратиграфическую шкалу. Ее еще называют глобальной или международной стратиграфической шкалой.

Без такой шкалы невозможно создание геологических карт, познание пространственной и временной структуры осадочной оболочки земной коры, восстановление истории развития нашей планеты. Уже около 60 лет международное сообщество геологов бьется над созданием шкалы, которая не содержала бы в себе пропусков и перекрытий. Для этого разработаны специальные правила и процедуры. Пока завершена работа примерно над половиной такой шкалы. В ней нашли свое место названия подразделений, первоначально установленных в различных странах. Есть такие и с российским «гражданством». Кроме ярусов пермской системы, это пять каменноугольных ярусов, выделенных в России и имеющих неоспоримый исторический приоритет.

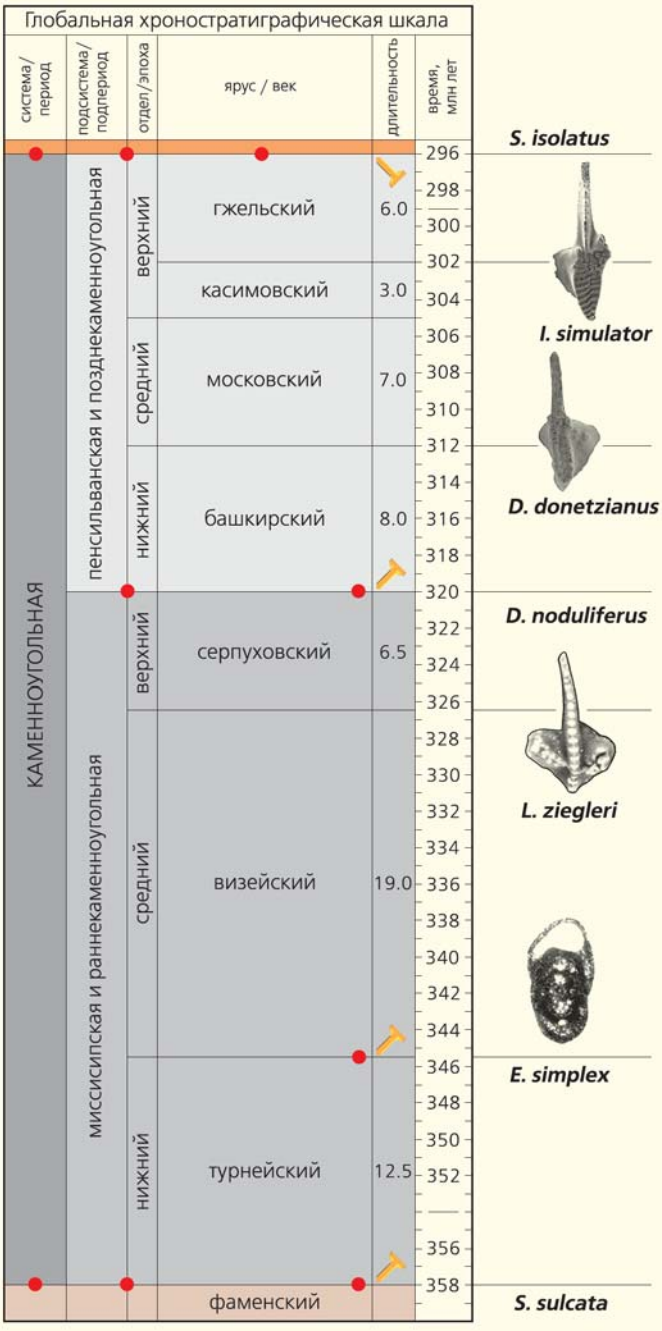

Рис.1. Глобальная хроностратиграфическая шкала карбона и биомаркеры. «Золотые гвозди» показаны на уровне утвержденных маркеров.

Каменноугольная система

В отличие от других, каменноугольная система делится не на отделы, а на подсистемы, поскольку в середине этого времени преимущественно теплый климат сменился на холодный и началась длительная ледниковая эпоха. Природная среда и органический мир до и после этого события существенно различались. Такое необычное деление стало компромиссом между европейскими и американскими геологами, поскольку в Северной Америке вместо одной системы выделялись две. Таким образом, в карбоне выделяются две подсистемы: миссисипская (нижний карбон) и пенсильванская (верхний карбон). Они делятся на отделы, каждый из которых (кроме одного, самого верхнего) эквивалентен одному ярусу (рис.1). Миссисипий включает три яруса (турнейский, визейский и серпуховский), а пенсильваний — четыре

(башкирский, московский, касимовский и гжельский).

Как же определить, какие толщи к какому ярусу отнести? Как провести линию, разделяющую, например, башкирский и московский ярусы? Решением этих вопросов занимается Международная комиссия по стратиграфии, входящая в состав Международного союза геологических наук. Она состоит из подкомиссий, каждая из которых ведает определенной системой (периодом).

Задачи, стоящие перед комиссией, очень сложны, поскольку системы и входящие в них ярусы выделены давно, иногда более 150 лет назад, без четких границ между ними. Нередко они, будучи хорошими подразделениями для определенной области, не могут быть распознаны на других материках, что препятствует их включению в международную шкалу в историческом объеме.

Эталонный разрез и точка в нем

Каждая межъярусная граница в соответствии с международным кодексом должна иметь эталон (стратотип, т.е. обнажение, или, как чаще говорят геологи, — разрез). Выбором таких эталонов занимаются международные рабочие группы. Они изучают геологические разрезы, в которых пытаются выявить наиболее легко устанавливаемую в самых разных районах Земли границу между ярусами. Эталонный разрез с точкой в нем (последней может служить, например, место взятия образца) получил название «глобальный стратотипический разрез и точка» (GSSP). Эту точку еще называют «золотым гвоздем».

После выбора определенного уровня ищется его наиболее подходящий маркер. Маркерами могут служить инверсии магнитного поля Земли (которые проявляются глобально, а в геологическом масштабе времени мгновенно); иридиевые или углеродные аномалии; туфовые прослои, помогающие проводить удаленные корреляции. Но наиболее используемы традиционные биомаркеры — виды организмов с четкими признаками и широким географическим распространением, возникающие в ходе эволюции вблизи определенного рубежа. В этом случае граница устанавливается по самому раннему появлению некоторого вида в единой последовательности предков и потомков. У многих ярусов палеозоя границы закреплены по конодонтам. Это ныне крайне важная группа вымерших морских рыбообразных организмов, близких современным миногам и миксинам, чей ротовой аппарат состоял из мельчайших (обычно менее 1—2 мм) фосфатных зубчиков. Она была открыта выдающимся отечественным палеонтологом Х.Пандером в 1856 г. Конодонты плавали в толще воды, были широко распространены, имели сравнительно небольшую зависимость от условий среды и высокие темпы эволюции.

На сегодняшний день для карбона утверждены стратотипы четырех границ (рис.1, 2).

Нижняя граница карбона (она же нижняя граница миссисипской подсистемы и турнейского яруса) — разрез Ла-Серре в горах Монтань Нуар на юге Франции. Основание пенсильванской подсистемы (или среднего карбона по шкале России) и одновременно башкирского яруса — разрез Эрроу-Каньон, штат Невада, США. Нижняя граница визейского яруса карбона — разрез Пенчон, расположенный в провинции Гуанси в Южном Китае. И верхняя граница карбона (или, что правильнее, основание пермской системы) — разрез Айдаралаш в Мугоджарах, Западный Казахстан.

В карбоне осталось выбрать эталоны нижних границ серпуховского, московского, касимовского и гжельского ярусов. Они впервые были выделены в России в окрестностях Москвы. Однако здесь, где морской бассейн того времени был крайне мелководным, часты перерывы. Более же полные разрезы этих ярусов находятся на Урале.

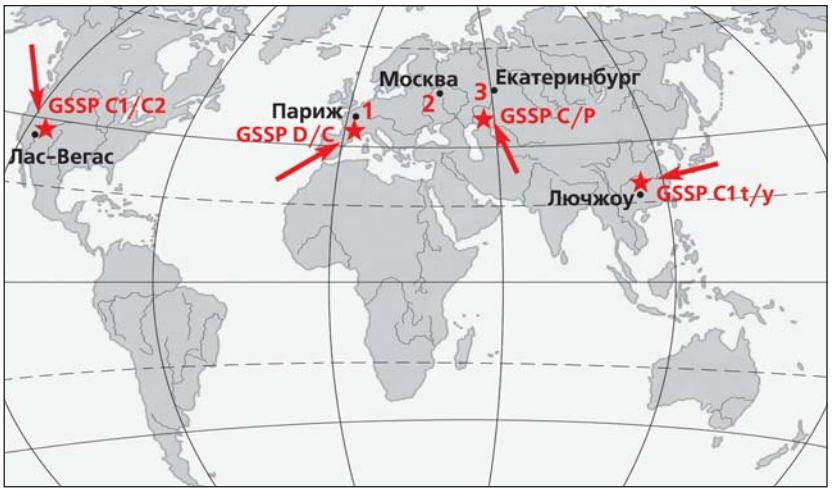

Рис.2. Местонахождения типовых регионов ярусов (1—3) и стратотипов (GSSP) на карте мира. 1 — Динантский бассейн (турнейский и визейский ярусы); 2 — Московская синеклиза (серпуховский, московский, касимовский и гжельский ярусы); 3 — Южный Урал (башкирский ярус). GSSP отмечены звездочкой.

Поиск и выбор эталона — это процесс

Выбору эталонного разреза предшествует многолетняя работа. На первом этапе изучают-

ся разрезы, расположенные на разных континентах, в областях с различными условиями накопления осадков — мелководные, глубоководные. Далее определяются маркеры, которые выдерживаются на значительных площадях. Биомаркер для конкретной точки выбирается путем голосования. Специалисты, входящие в рабочую группу, совместно проводят комплексные исследования и совещания, для того чтобы изучать один и тот же разрез различными методами, отбирать образцы из одних и тех же пластов, а потом совместно просматривать коллекции для однозначного понимания вида-маркера.

Такое совещание Международной подкомиссии по карбону и одновременно ее рабочих групп 11—19 августа 2009 г. проходило в Подмосковье и на Урале. Российские специалисты показали исторические типовые разрезы ярусов, вошедших в глобальную хроностратиграфическую шкалу, и разрезы, предлагаемые в качестве эталонных для некоторых границ карбона.

В организации совещания приняли участие ведущие учреждения Российской академии наук: Палеонтологический институт им.А.А.Борисяка, Институт геологии Уфимского научного центра, Геологический институт, а кроме того, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им.А.П.Карпинского и Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова.

В полевом совещании приняли участие более 50 специалистов из разных стран — Великобритании, Израиля, Ирландии, Казахстана, Канады, Китая, России, Словении, США, Узбекистана, Японии. Этому предшествовали многолетние комплексные детальные исследования каменноугольных отложений, проводившиеся в рамках научных тем геологических организаций и проектов РФФИ.

Что мы предлагаем в качестве эталонов

В программу полевого совещания входил осмотр типовых разрезов в Подмосковье и опорных разрезов на Урале, в том числе тех, которые могли бы претендовать на мировой эталон.

Разрезы Южного Урала по рекам Сиказа и Зиган, вскрывающие пограничные отложения девона и карбона, привлекли большой интерес участников экскурсии. В Северном полушарии здесь отмечается кратковременное изменение условий седиментации — среди известняков появляются черные глины и глинистые сланцы. Этот событийный уровень получил название хангенбергского события, обнаруженного впервые в Германии. Вероятно, оно проявилось и на Урале, где также отмечаются прослои глинистых пород (рис.3). Но самое главное — присутствие тех же конодонтов, что и в стратотипе во Франции. В наших разрезах выявлена последовательная смена конодонтов единой филогенетической линии рода *Siphonodella*. Недавно вид-маркер нижней границы карбона *S.sulcata* на юге Франции был найден ниже, чем ему

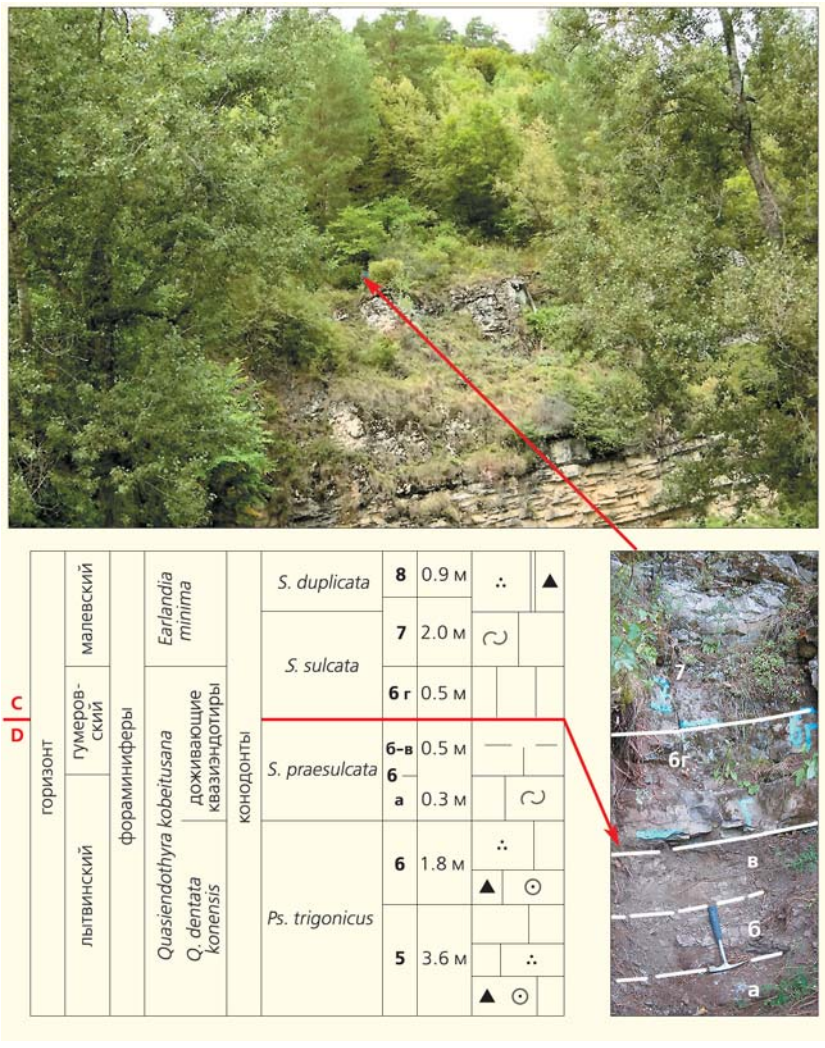

Рис.3. Пограничные отложения девона и карбона в разрезе Сиказа (Урал). Цифрами показаны номера слоев. Слева на колонке красной линией обозначена граница девона и карбона. Слой 6 сложен рыхлым сильно глинистым известняком, что свидетельствует о проявлении здесь хангенбергского события.

положено, в связи с чем образована объединенная рабочая группа, которой придется решать, заменять ли маркер, переносить границу ниже или выше с использованием других видов кокодонтов.

Серпуховский ярус выделен в Подмосковье С.Н.Никитиным еще в 1890 г., стратотипом его служит карьер Заборье, расположенный у южной окраины г.Серпухова. Другой опорный разрез — Новогуровский карьер в Тульской обл. Там вскрыты еще отложения визейского яруса. Слагающие серпуховский ярус известняки содержат остатки разнообразных водорослей, фораминифер, мшанок, брахиопод, морских лилий, брюхоногих моллюсков, богатую фауну рыб.

Определение нижней границы серпуховского яруса включено Международной подкомиссией в число приоритетных задач, над которой работают с 2002 г. Большинство специалистов считают, что наилучшим корреляционным потенциалом на сегодня обладает эволюционное появление вида конодонтов *Lochriea ziegleri* в линии *Lochriea nodosa — L.ziegleri*. Но в Подмосковье серпуховские известняки залегают на размытой и растворенной поверхности визейского известняка. Скорее всего, появление серпуховских видов связано со сменой условий, а не с эволюцией.

В разрезе Верхняя Кардаиловка на восточном склоне Южного Урала в Башкирии серпуховский ярус представлен в полном объеме. Там за длительное время в глубоководных условиях накопилась небольшая толща осадков (37 м). Для сравнения укажем, что в недалеко расположенном мелководном разрезе по р.Худолаз к серпуховскому ярусу относятся 550 м, т.е. почти в 15 раз больше!

В последние годы мы получили новые данные по пограничным отложениям визейского и серпуховского ярусов в этом разрезе: пройдены канавы, где породы были закрыты осыпью, получена полная последовательность верхневизейских и серпуховских конодонтов в одном обнажении, и дано обоснование границы по таким важным группам организмов, как аммоноидеи и фораминиферы. В пограничном интервале также изучены остракоды, радиолярии, найдены одиночные кораллы.

Разрез Верхняя Кардаиловка предложен рабочей группой России в качестве глобального эталона нижней границы серпуховского яруса и представлялся на экскурсии (рис.4).

Специалисты положительно оценили фаунистическую характеристику, однако нашелся и минус. Хотя здесь неоспоримо, по нескольким группам фауны, доказано присутствие верхневизейских пород, видно всего 3 м отложений, а этого мало для международного эталона. Задернованная часть в 2000 г. вскрывалась шурфами, но в двухстах метрах от основного разреза (там покров четвертичных отложений тоньше). А нужно, чтобы весь разрез был открыт в одном обнажении.

Как быть? Выход, как всегда, есть — надо раскопать закрытый участок. Недолго думая, российские геологи поехали в пос.Пригородный и с помощью плуга (!) и ковша тракторов подготовили расчистку. В итоге удалось отрыть еще три метра. Копали все, во главе с председателем подкомиссии (рис.5, 6).

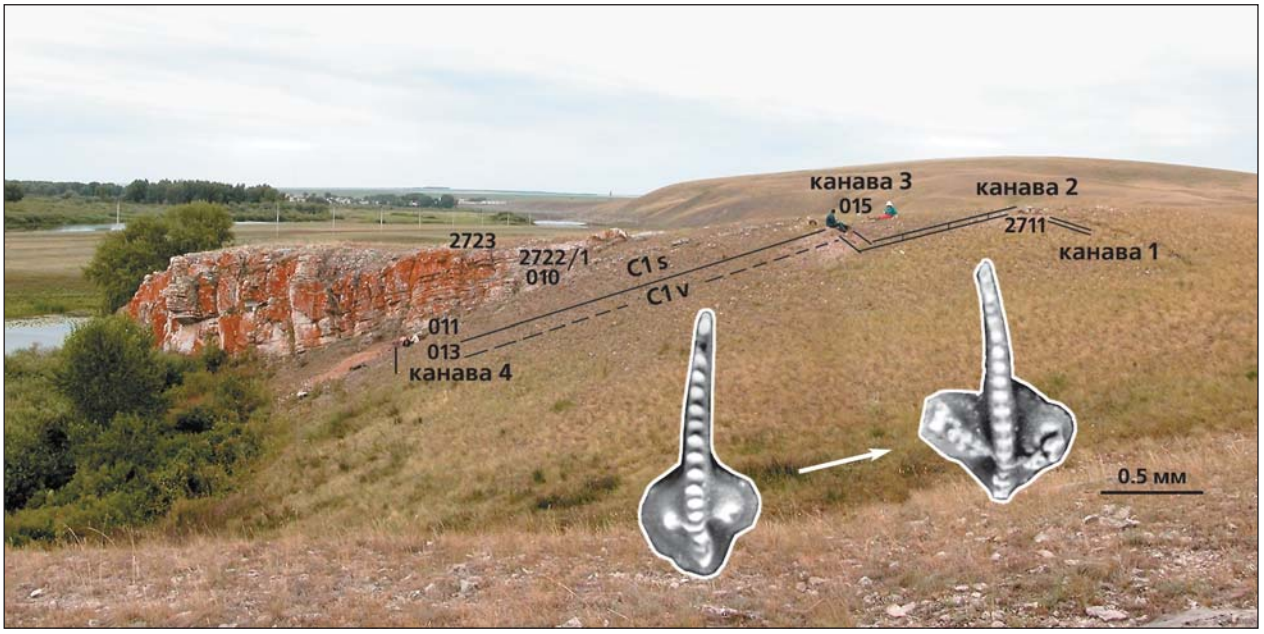

Рис.4. Пограничные слои визейского и серпуховского ярусов в разрезе Верхняя Кардаиловка (Башкирия, Южный Урал).

Рис.5. Раскопки на разрезе Верхняя Кардаиловка (Башкирия).

Дело было к вечеру, и участникам экспедиции показалось, что вскрытый разрез имеет серьезный недостаток — нарушен разломом. А это значит, что ни о каком стратотипе речи быть не может. Однако на следующий день раскопки продолжили, и оказалось — слои просто перекрыты оползшей глыбой.

Но, впрочем, дело еще не кончено, предстоит еще продолжать раскопки, чтобы детально, по сантиметру, отобрать образцы для изучения тонких особенностей накопления древних осадков, установить изотопный состав кислорода и углерода в известняках, реконструировать колебания уровня моря и климатические сдвиги.

Следующая граница — основание московского яруса. В качестве одного из маркеров обсуждается конодонтовый вид *Declinognathodus donetzianus*, описанный в Донбассе и присутствующий в Подмосковье.

Рис.6. Расчистка канавы. Слева — сотрудник Института геологии Уфимского научного центра РАН В.Н.Барышев, справа — Б.Ричардс, председатель Международной подкомиссии по каменноугольной стратиграфии.

Но этот вид, кроме Южного Урала и ряда мест Западной Европы, больше нигде не обнаружен.

Один из наиболее изученных регионов России, где присутствуют непрерывные карбонатные разрезы пограничного башкирско-московского интервала, — Южный Урал (типовой регион башкирского яруса). В пограничных отложениях башкирского и московского ярусов распределение конодонтов установлено в нескольких местах, однако комплексы имеют специфические особенности и маркерный вид пока известен только в одном разрезе — в небольшом карьере на правом склоне р.Басу. Ценность разреза по р. Басу состоит еще и в том, что он содержит помимо конодонтов ископаемые остатки фораминифер и брахиопод (рис.7).

В то же время специалисты из Китая предложили в качестве маркера другую эволюционную линию конодонтов, а именно *Diplognathodus coloradoensis — D.ellesmerensis*, а в качестве типового разреза — Нацин в Южном Китае. Китайский разрез прекрасно обнажен (вскрыт дорожной выемкой), непрерывен и глубоководен. Но и он требует дальнейшего изучения. Явный его недостаток — полное отсутствие макрофауны. Вероятно, вопрос с выбором маркера основания московского яруса решится, когда разрез Нацин будет всесторонне изучен.

Граница московского и касимовского ярусов также пока не получила своего маркера. Морские фауны различных бассейнов этого времени почти не имеют общих видов организмов, так как частые периоды похолодания приводили к падению уровня океана и изоляции морей. Один из потенциальных кандидатов (хотя далеко и не идеальный), расположенный в Афанасьевском карьере (Подмосковье), участникам экскурсии увидеть не удалось. Его владелец — французская компания Лафарж Цемент Групп — по надуманным причинам не дала разрешения на посещение. Этот недружественный акт противоречит международным правилам свободного доступа к объектам, претендующим на эталоны международной шкалы. Он нанес очевидный ущерб национальному престижу России.

Несколько лет назад в рабочей группе и подкомиссии было достигнуто принципиальное согласие о закреплении нижней границы гжельского яруса на уровне появления конодонтов *Idiognathodus simulator*. Это событие зафиксировано во многих районах земного шара, в том числе в стратотипе гжельского яруса в Подмосковье (рис.8) и в глубоководном разрезе Усолка в Башкирии на за-

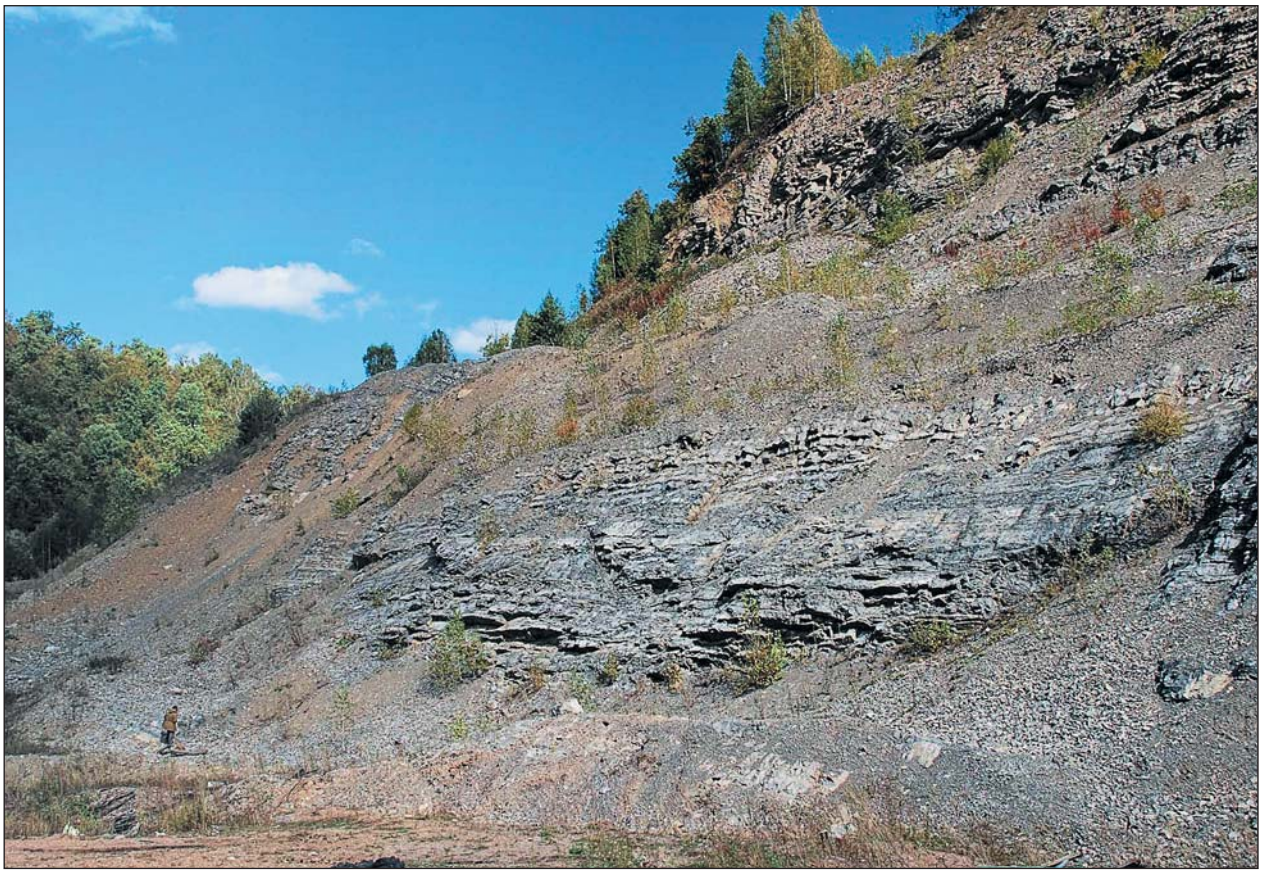

Рис.7. Пограничные отложения башкирского и московского ярусов, разрез Басу, Южный Урал.

Рис.8. Стратотип гжельского яруса, разрез Гжель (Подмосковье). Цифрами показаны номера слоев. Между слоями 1 и 2 фиксируется перерыв в осадконакоплении, а появление вида-маркера *I.simulator* приурочено к уровню максимального углубления морского бассейна.

падном склоне Южного Урала. Вопрос о выборе стратотипа пока остается открытым.

* * *

Надо сказать, что наряду с тесным сотрудничеством между национальными группами идет и определенная борьба за стратотипы и «золотые гвозди». Имеет место своего рода геополитика. Считается большой честью доказать международному сообществу, что предлагаемый разрез — наилучший. А наилучшим он становится не только в силу своего физического состояния (доступности, непрерывности, охарактеризованности разнообразной фауной, возможности изотопного датирования), но и от того, насколько тщательно изучен и интерпретирован собранный в нем материал. Это уже показатель научного уровня специалистов той страны, от которой предлагается разрез.

Предполагается, что многие вопросы будут решаться на планируемом в ноябре 2010 г. совместном заседании рабочих групп, которое предложили провести в Нанкине китайские коллеги. Предстоят жаркие дискуссии, споры о видах-маркерах, полноте и непрерывности разрезов. Есть надежда, что будут сделаны решительные шаги к завершению оформления международной шкалы каменноугольной системы. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 07-05-00997, 09-05-00101 и 09-05-06056.