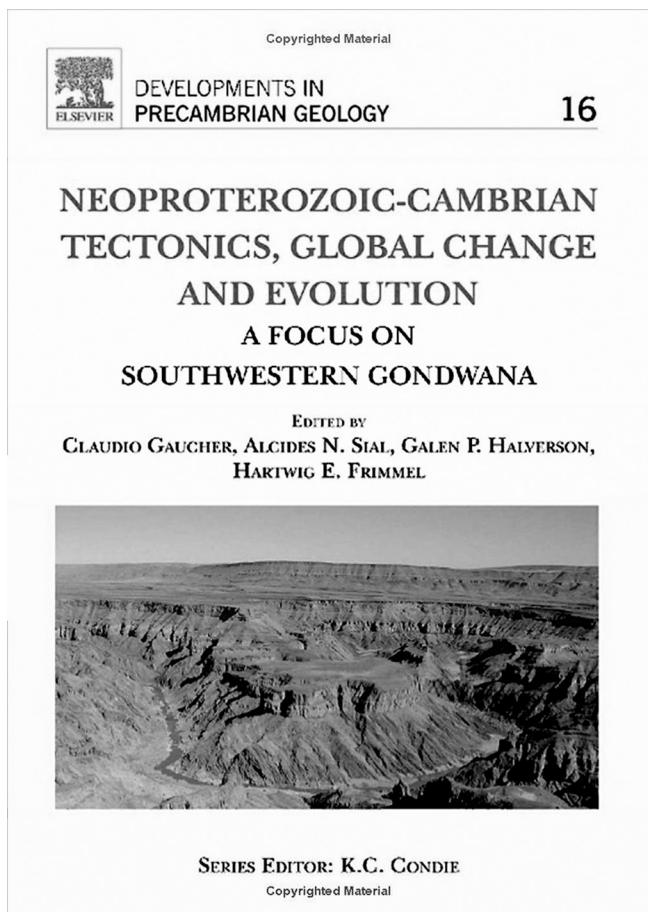


## СЕРИЯ “DEVELOPMENTS IN PRECAMBRIAN GEOLOGY”, ТОМ 16



В 2009 г. издательство Elsevier в серии “Developments in Precambrian Geology” выпустило в свет 16-ю по счету монографию, посвященную неопротерозойско-кембрийской тектонике, глобальным изменениям и эволюции юго-западной Гондваны<sup>1</sup>. И хотя речь в ней идет о геологии весьма далеких от нас и наших интересов территорий, ряд приведенных в данной книге материалов имеет, несомненно, существенно более широкое значение, и именно о них в основном и пойдет далее речь.

Рассматриваемая капитальная работа (один только список литературы содержит более 1400 источников) состоит из трех разделов. Первый из них, включающий всего одну главу (авторы разделов – C. Gaucher, A.N. Sial, G.P. Halverson и H.E. Frimmel), – своеобразное введение в проблему. Как отмечают авторы, неопротерозойская эра (1000–

542 млн. лет), сопоставимая по длительности с фанерозоем, полна ярких событий разного плана. Это амальгамация и распад ряда суперконтинентов, серия крупных оледенений, существенные вариации изотопного состава углерода и серы в водах океана, появление животных и первых скелетных организмов, наиболее древние следы колонизации бентосных ниш (т.н. “агрономическая революция” в понимании А. Зейлахера: смена на границе эдиакария и кембрия микробиальных субстратов на “перепаханные” вследствие интенсивной биотурбации).

Второй раздел монографии содержит исчерпывающий обзор разноплановых неопротерозойско-кембрийских событий в юго-западной Гондване. Глава 2 (авторы – C.J.S. De Alvarenga, P.C. Boggiani, M. Babinski, M.A. Dardenne, M. Figueiredo, R.V. Santos и E.L. Dantas) посвящена эволюции Амазонского палеоконтинента. В ее многочисленных подразделах детально рассмотрены лито- и хемостратиграфия, а также геохронологические и палеомагнитные данные. Глава 3 (авторы – A.N. Sial, M.A. Dardenne, A. Misi, A.J. Pedreira, C. Gaucher, V.P. Ferreira, M.A. Silva Filho, A. Uhlein, A.C. Pedrosa-Soares, R.V. Santos, M. Egydio-Silva, M. Babinski, C.J.S. Alvarenga, T.R. Fairchild и M.M. Pimentel) знакомит читателей с неопротерозойско-кембрийскими событиями в пределах палеоконтинента Сан-Франциску. Также, как и в главе 2, здесь приведен синтез литостратиграфических подразделений, и даны подробные сведения по изотопной хемостратиграфии, геохронологии и источникам сноса. В последнем подразделе суммированы данные о локализованных в осадочных последовательностях проявлениях и месторождениях свинца, цинка, флюорита, барита и фосфоритов. В главах четыре (авторы разделов: J. Bossi, C. Cingolani, D.G. Poire, C. Gaucher, A.N. Sial, L.G. Peral, V.P. Ferreira, M.M. Pimentel и G. Blanco) и пять (H.E. Frimmel, R. Miller, G. Halverson, G.J.B. Germs, C. Gaucher и T.M. Will) проанализированы современные данные по эволюции палеоконтинента Рио-де-Ла-Платы и Юго-Западной Африки. Две последние главы второго раздела содержат сведения о неопротерозойско-кембрийской эволюции орогена Пампа (F.G. Aceñolaza и A. Toselli) и микроконтинентов на юго-западе Гондваны (M.S.M. Mantovani, B.B. de Brito Neves, M.A.S. Basei, A. Nutman, O. Siga, C.R. Passarelli и C.O. Drukas). Приведенные здесь материалы существенно дополняют те данные, что известны отечественному читателю по монографии В.Е. Хайна “Тектоника континентов и океанов (год 2000)”.

Третий раздел, объединяющий четыре главы, посвящен синтезу приведенных в двух пред-

<sup>1</sup> Neoproterozoic-Cambrian Tectonics, Global Change and Evolution: a focus on southwestern Gondwana / Eds. Gaucher C., Sial A.N., Halverson G.P. & Frimmel H.E. Developments in Precambrian Geology. Elsevier. 2009. Vol. 16. 454 p.

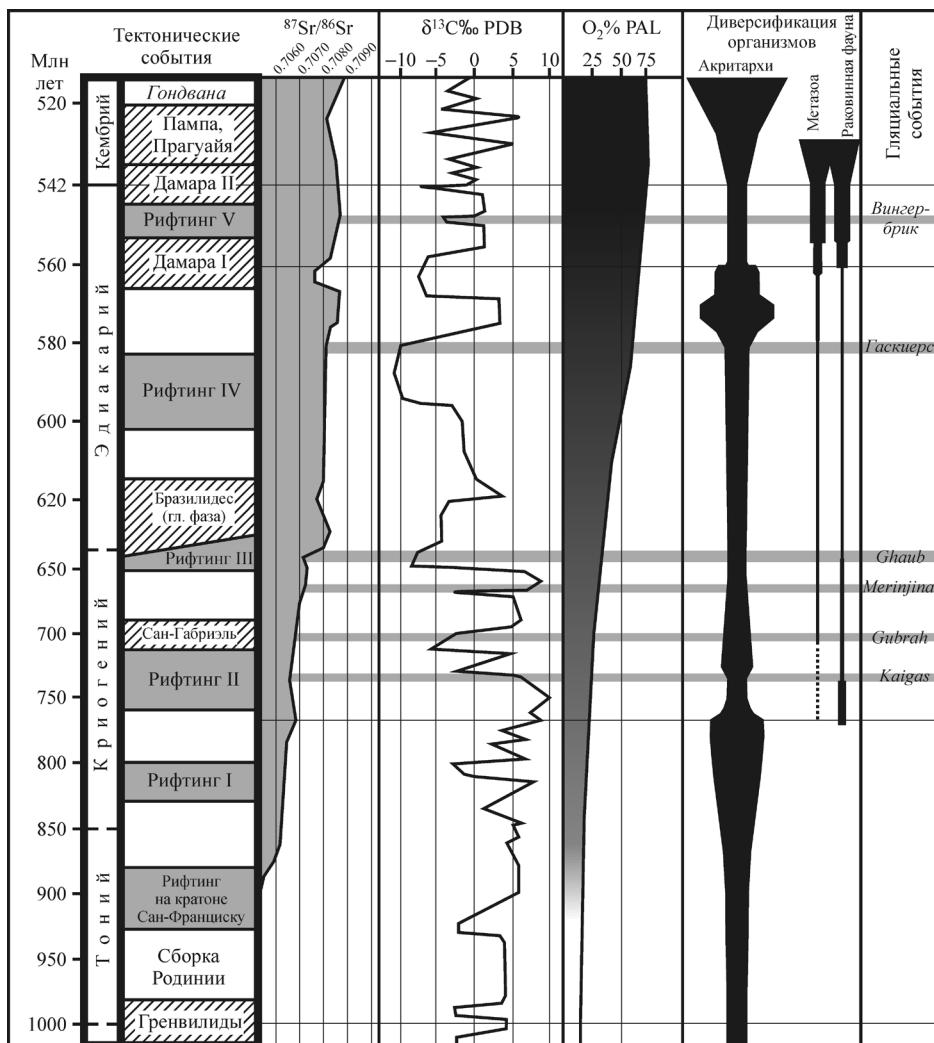
ыдущих разделах весьма обширных сведений и их “встраиванию” в современные глобальные модели. В главе 8 проанализированы тектонические события и палеогеографическая эволюция юго-западной Гондваны в неопротерозое и кембрии; авторами ее разделов и подразделов являются С. Gaucher, Н.Е. Frimmel и Г.В. Germs. Как известно, начало неопротерозоя почти совпадает с окончанием гренвильской орогении (1.3–0.9 млрд. лет), а завершение приходится в юго-западной Гондване на Бразилиано-Пан-Африканскую серию орогенных событий (~650–520 млн. лет назад). Таким образом, неопротерозой соответствует полному суперконтинентальному циклу. С распадом Родинии связан пик развития пассивных окраин, в разрезах которых представлена вся седиментационная летопись неопротерозоя. Тектоническая активность этого периода во многом определила особенности сопутствующей эволюции биосферы и значительные изменения химического состава морской воды и климата (рис. 1). Пришедшаяся на начало неопротерозоя глобальная “реорганизация” мантийных масс была, возможно, причиной быстрой смены положения полюсов и спусковым механизмом низкоширотных оледенений криогеня. К середине неопротерозоя, в связи с эрозией древней континентальной коры, во внутренних частях Родинии произошел рост отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  от 0.7053 до 0.7072. Следующий пик  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (~0.7093), обусловленный разрушением корней Бразилиано-Пан-Африканской системы орогенных сооружений, пришелся на середину кембрия и был одним из максимальных пиков  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в истории нашей планеты.

Сформированный примерно 1.2–1.0 млрд. лет назад, вследствие амальгамации ряда небольших континентов, суперконтинент Палеопангея, или Родиния, в интервале ~850–550 млн. лет распался в результате процессов рифтогенеза (800–750, 630–600, ~550 и ~530 млн. лет) на ряд фрагментов. Коллизия некоторых из них привела к появлению более крупных блоков, которые вошли позднее (~550–280 млн. лет назад) в состав суперконтинента Пангея. Анализ индикаторов палеотечений и положения источников сноса свидетельствует, что в неопротерозое и раннем палеозое кратоны и крупные блоки коры в юго-западной Гондване были последовательно разделены, по крайней мере, пятью разными океанами (Дамара, Адамастор, Бразилидес, Пампа и Япетус) (рис. 2). Активность суперплюма, вызвавшего распад Родинии, оказала, по всей видимости, ярко выраженный эффект (возможно, даже больший, чем эффект от реорганизации плит) и на процессы на поверхности нашей планеты. Повышенный тепловой поток через литосферу, внедрение значительного количества мантийных пород в рифтах и океанических хребтах, а также резкое увеличение площади континентальных шельфов и дли-

ны срединно-океанических хребтов могли быть основными факторами такого влияния.

Химия вод океана и их редокс-статус в рассматриваемый интервал времени в значительной мере вернулись к тем, что были присущи палеопротерозою. Предполагается, что для неопротерозоя был характерен стратифицированный по кислороду океан с громадным аноксическим слоем. Это привело к появлению в разрезах рассматриваемого нами временного интервала железистых кварцитов, резкому увеличению биомассы планктона на фоне роста содержания в водах океана таких биофильных элементов как Fe, Mn, Si и P, ярко выраженным отрицательным экскурсам  $\delta^{13}\text{C}$ , климатическим перестройкам и периодическим коллапсами биопродуктивности. Возможно также, что наиболее значительные в истории Земли оледенения в криогении и эдиакарии были обусловлены падением концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, вследствие роста биопродуктивности, и необычайно интенсивными процессами карбонатонакопления и выветривания силикатов.

Неопротерозойско-кембрийская палеонтологическая летопись проанализирована в главе 9, причем авторы (С. Gaucher, P. Sprechmann, G.J.B. Germs, G.F. и F.G. Acenolaza) вышли за пределы Гондваны и сделали выводы глобального характера. Во-первых, они предложили свое видение динамики таксономического разнообразия акритарх – одной из немногих групп ископаемых остатков, дающей надежду на возможность корреляции удаленных разрезов верхнего протерозоя. Нет ничего удивительного в том, что интервалы, представленные ледниками формациями, слабо охарактеризованы акритархами, а “межледниковые” отложения содержат таксономически бедные комплексы, однако авторы уходят от рассмотрения проблем неполноты таксономической летописи и узкой фациальной приуроченности микрофоссилей. Придерживаясь *a priori* представлений о том, что неопротерозойские акритархи в большинстве своем следует интерпретировать как ископаемый фитопланктон, который должен реагировать на крупные климатические и океанографические пертурбации, авторы предлагают выделять в неопротерозое семь крупных фаз в эволюции планктонных микроорганизмов: 1) диверсификация в тонии и раннем криогене (1000–700 млн. лет); 2–3) кризис (770–740 млн. лет) и восстановление разнообразия в среднем криогене (~740–700 млн. лет); 4) позднекриогене-вый кризис (~700–635 млн. лет); 5) восстановление разнообразия в раннем эдиакарии (635–580 млн. лет); 6) “взрыв” разнообразия в среднем эдиакарии (~580–560 млн. лет); 7) кризис конца эдиакарии (~560–542 млн. лет). Однако такой подход порождает ряд вопросов, ответов на которые пока нет. Так, если значительный упадок в разнообразии акритарх приходится на эпохи, непосредственно предшествующие оледенениям криогения, то непонят-



**Рис. 1.** Хроностратиграфия, тектонические и гляциальные события, изотопный состав морской воды, степень окисгениации атмосферы, основные вымирания и радиации биоты в неопротерозое.

Рифтинг I – Индия, рифтинг II – Южный Китай, кратон Калахари, Австралия и Восточная Антарктика; рифтинг III – кратоны Амазонский и Рио-де-Ла-Плата; рифтинг IV – Балтика, Северная Лаврентия, кратоны Амазонский и Рио-де-Ла-Плата; рифтинг V – открытие океана Япетус. Орогенные события, показанные на рисунке, приведены в основном по материалам для гондванских блоков.

но, как тогда объяснить существование достаточно сложных акритарх, стратиграфический интервал распространения которых охватывает несколько оледенений? Почему кризис конца эдиакария, когда морфологическое и таксономическое разнообразие неопротерозойских акритарх упало до палеопротерозойского уровня, вообще не связан с каким-либо гляциальным событием? Во время так называемых кризисов широкое распространение получают *Bavlinella faveolata*, которых иногда сравнивают с цианобактериями *Microcystis*, вызывающими “цветение” воды в водоемах, поэтому авторы проводят параллель между фазами таксономического обеднения комплексов акритарх в неопротерозое с событиями океанической аноксии в мезозое, но не

принимают к сведению тот факт, что *B. faveolata*, приуроченные к насыщенным органическим веществом и сульфидами отложениям относительно глубоководных обстановок, в которых не встречены остатки аэробных эукариот, могут оказаться остатками аноксических фототрофных бактерий и не отражать события массового “цветения” воды. Авторы с большим энтузиазмом рассматривают выделенные фазы в качестве прототипов будущих биостратиграфических зон, однако далеко не все специалисты разделят эту точку зрения.

В этой же главе сделана попытка дать ответ еще на один принципиально важный вопрос. Если, как это уже установлено, организмы с биологически контролируемой минерализацией появил-

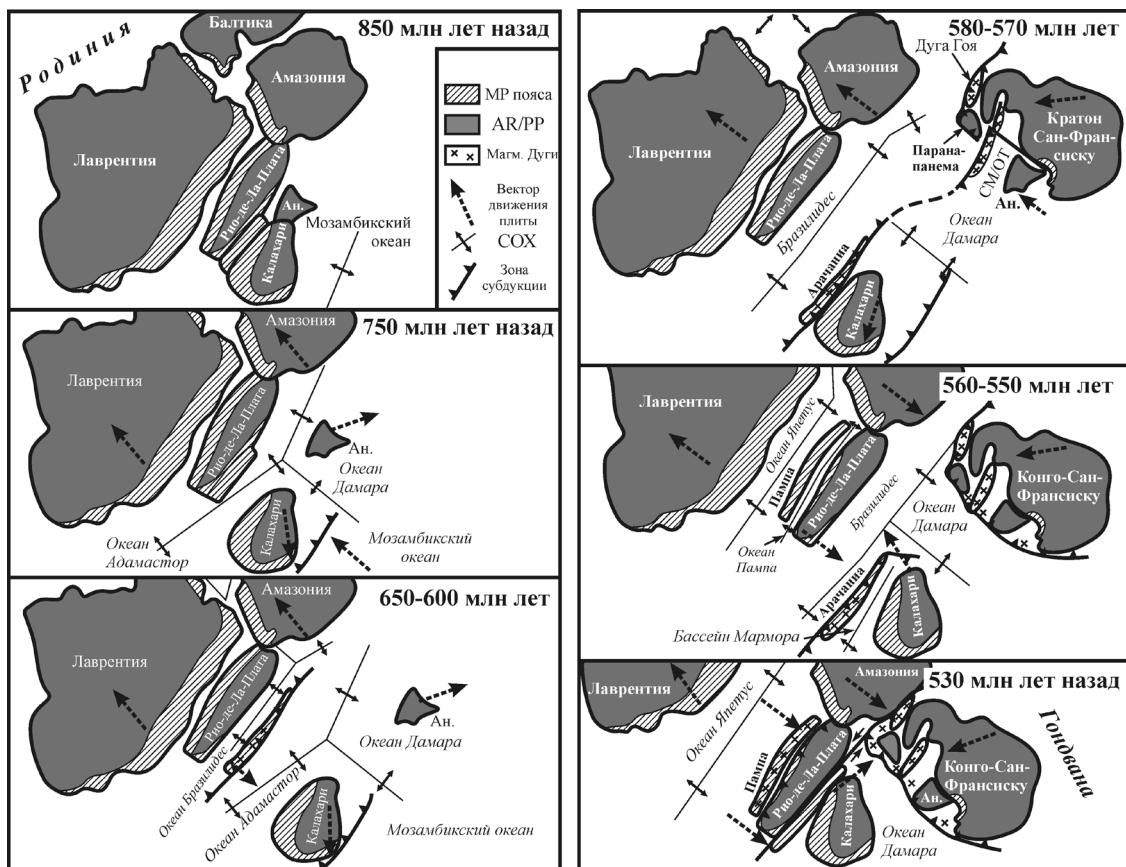


Рис. 2. Палеогеографические реконструкции для юго-западной Гондваны и Лаврентии в интервале между 850 (полная сборка Родинии) и 530 (финальная сборка Гондваны) млн. лет назад.

Ан. – Ангольский кратон; СМ/ОТ – террейн Serra do Mar/Oriental.

лись ~750 млн. лет назад (рис. 3), то, что препятствовало более ранней (задолго до кембрия) диверсификации скелетных организмов? По мнению авторов, этому мешали многочисленные оледенения, продолжавшиеся вплоть до конца неопротерозоя, которые заставляли биоту несколько раз проходить через “бутылочное горлышко” (эффект сокращения численности популяций). Однако не следует забывать, что скелетные остатки протерозойского возраста – крайне редкое явление; по всей вероятности, скелет в то время не выполнял каких-либо важных биологических функций и не участвовал в круговороте карбонатов и кремнезема. Кроме того, биоразнообразие в протерозое в целом было очень низким, а в процентном соотношении (от общего разнообразия) скелетные организмы в протерозое были представлены так же, как и в фанерозое. Возникновение скелетов явилось не причиной, но следствием диверсификации организмов и усложнения экосистемы в результате появления билатерий – эукариот с гетеротрофным способом питания и высшим метазойным уровнем организации, когда две функции организма – пищеварение и

локомоция – уже связаны с внутренними слоями тела и формируется интегрированная система тканей и органов движения, захвата пищи и пищеварения со сложным моторно-нейронным механизмом контроля. Как известно, дивергенция эукариот произошла в течение относительно короткого интервала времени 1000–750 млн. лет. По всей вероятности, в этом же временном интервале могли появиться и Holozoa – группа эукариот, к которой относятся многоклеточные животные (Metazoa) и хоанофлагелляты (Choanoflagellata). По крайней мере, грибы (Fungi), которые рассматриваются как сестринская группа Holozoa, к этому времени уже сформировалась, на что указывают остатки возможных грибоподобных организмов из лахандинской серии Сибири. Таким образом, предки многоклеточных животных, возможно, появились в начале неопротерозоя и пережили длительный период оледенений, однако лишь к концу эдиакария они эволюционировали в билатерий и “принесли с собой” усложнение пищевых цепей, увеличение размеров тела, трэйд-офф между плодовитостью и выживанием, экологические сукцессии, биопровинциаль-

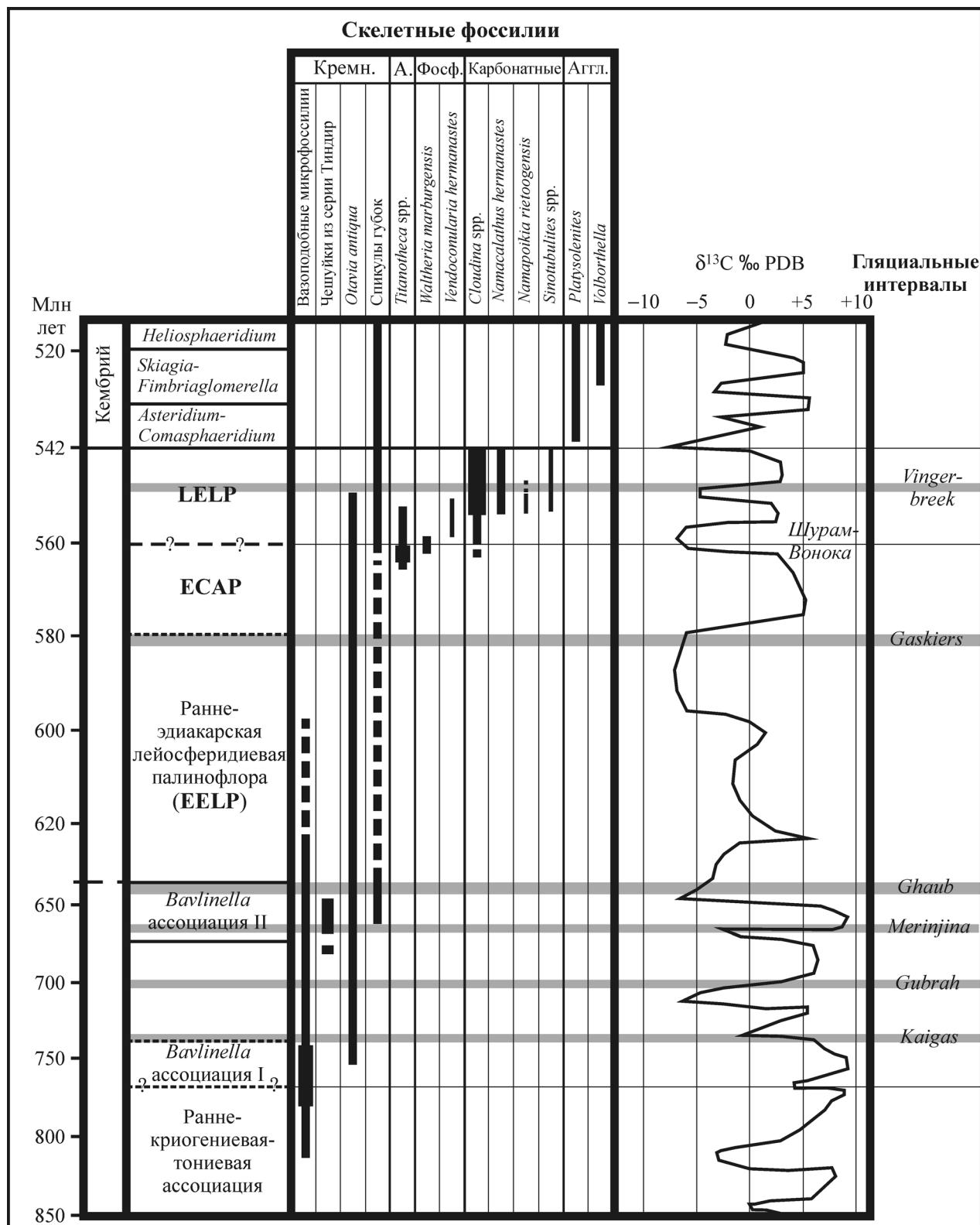


Рис. 3. Распространение неопротерозойских и ряда раннекембрийских скелетных фоссилий.

Ширина соответствующих линий для каждого таксона указывает на его относительную распространённость/разнообразие. LELP – позднеэдиакарская лейосферидиевая палинофлора; ECAP – эдиакарский комплекс акантоморфной палинофлоры. Кремн. – кремнистые, А/Аггл. – агглютинированные, Фосф. – фосфатные.

ность, увеличение биомассы, доминирование эукариот в первичной продукции, что в совокупности составляет кембрийский “взрыв биоразнообразия”, в том числе и скелетных организмов.

Завершающая монографию глава посвящена обзору неопротерозойско-кембрийских палеоклиматических событий и состоит из двух крупных разделов. В первом разделе (авторы – A.J. Kaufman, A.N. Sial, H.E. Frimmel и A. Misi) рассмотрены данные собственно для юго-западной Гондваны. С середины 1960-х гг. для неопротерозоя здесь принято выделять две ледниковые эпохи – Стерт и Марино. Позднее была выявлена третья такая эпоха – Гаскиерс. Для Стерта и Марино предполагается существование обстановок типа “Земля-снежок”, тогда как во время оледенения Гаскиерс ледовый покров был, скорее всего, более локальным.

Неопротерозойские гляциогенные отложения весьма широко представлены в разрезах различных континентов. Однако, установление их точного возраста и глобальная корреляция, как подчеркивают авторы, все еще представляют существенную проблему. Так, например, в Намибии, на краю Конго, стертские диамикиты Chuos имеют возраст порядка 746 млн. лет. Возраст коррелируемых с ними гляциогенных отложений формации Kaigas составляет  $\sim 750$  млн. лет. Напротив, в Южной Австралии стертская формация Merinjina имеет возраст  $\sim 660$  млн. лет ( $U-Pb$  SHRIMP по цирконам из туфовых прослоев), что согласуется с Re-Os датировкой ( $643.0 \pm 2.4$  млн. лет) для перекрывающих сланцев Tindelpina. Из приведенных материалов следует, что временные рамки стертского оледенения в Намибии, Конго и Бразилии значительно древнее, чем в других местах, включая Южную Австралию – типовую местность распространения стертских диамикитов. Для диамикитов Ghubrah в Омане  $U-Pb$  SHRIMP возраст цирконов составляет  $723 \pm 16$  – 10 млн. лет, а для диамикитов Scout Mountain в Айдахо, США, он находится в интервале между  $717 \pm 4$  и  $667 \pm 5$  млн. лет. Все это дает для стертского оледенения интервал длительностью примерно в 100 млн. лет, и весьма вероятно, что данное оледенение – это серия дискретных событий, контролировавшихся осциляциями в химии и биологии океана.

Одна из наиболее интересных особенностей оледенений в криогене – их тяготение, по всем более или менее приемлемым палеомагнитным данным, к умеренным и низким широтам. Многие из гляциальных отложений, включая хорошо известные приливные ритмы формации Элатина в Южной Австралии, накапливались на границе континента и океана, указывая тем самым на то, что ледники достигали уровня моря и в тропиках. Специфику рассматриваемого в монографии интервала времени подчеркивает и то, что во многих случаях диамикиты трансгрессивно перекрывают карбо-

натные платформы – этот сценарий никогда более в геологической истории не повторялся.

Неопротерозойские оледенения могли играть существенную роль в диверсификации эукариот и, особенно, метазоа, оказывая как позитивное, так и негативное влияние. Так, в настоящее время многие исследователи, как и авторы рассматриваемой нами монографии, считают, что гляциальные обстановки и следовавшие за ними эпохи “горячего климата” являлись с одной стороны “узким бутылочным горлышком”, приводившим к угасанию многих видов акритарх, а с другой – отступление ледников и стабилизация климата создавали обширные территории для колонизации их различными организмами. Именно с этим, возможно, связана диверсификация вендобионтов и метазоа сразу после оледенения Гаскиерс. Таким образом, как потепление климата, так и его стабилизация ведут к минимизации или исчезновению ранее существовавших стрессовых факторов, способствуя диверсификации живых организмов и, в частности, метазоа. Однако, в то же время рядом исследователей предполагается, что кембрийский эволюционный взрыв не был обусловлен собственно экологическими факторами.

Второй раздел данной главы посвящен неопротерозойским гляциальным событиям на территории Евразии. Его автор – известный отечественный специалист по данной проблеме – Н.М. Чумаков (ГИН РАН, г. Москва). Приведенные здесь сведения во многом перекликаются с теми, что опубликованы в самом начале 2011 г. в журнале “Стратиграфия. Геол. корреляция”<sup>2</sup>. На протяжении неопротерозоя в Евразии можно видеть четыре крупных гляциальных события: в среднем и позднем криогене (750–660 и 660–635 млн. лет), в среднем эдиакарии (~580 млн. лет) и у границы докембрия и кембрия (до-немакит-далдынское или ранне-немакит-далдынское байконурское оледенение). Байконурское оледенение было достаточно обширным и проявилось в обоих полушариях.

Переворачивая последние страницы этой книги, можно только с грустью отметить, что докембрийская геология юго-западной Гондваны совершила существенный шаг вперед, в то время, как в нашей стране, мы все еще озабочены поиском приоритетов в фундаментальной науке и с завидным упорством многие годы снижаем масштабы ее как моральной, так и материальной поддержки... Приведет ли это в каком-либо будущем к поднятию имиджа отечественной науки? Определенно вряд ли.

*А.В. Маслов, Д.В. Гражданкин*

<sup>2</sup> Чумаков Н.М. Африканская ледниковая эра позднего протерозоя // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2011. Т. 19, № 1. С. 3–23.