

История Земли в протерозое

Протерозой (протерозойский эон)

- Термин введен Э. Эммонсом в 1888 году.
- Длительность 2500 – 542 млн. лет.

Подразделения протерозоя

Акротема	Эонотема	Эратема	Система		Возраст (млн лет)
			Вендская V	Верхний отдел V ₂ Нижний отдел V ₁	
Протерозойская PR	Верхнепротерозойская PR ₂	Рифейская RF	Верхнерифейская (Каратавская) RF ₃		570-555
			Среднерифейская (Юрматинская) RF ₂		1030
			Нижнерифейская (Бурзянская) RF ₁		1350
	Карельская KR (Нижнепротерозойская PR ₁)		Верхнекарельская KR ₂		1650
			Нижнекарельская KR ₁		2100
			Верхнелопийская LP ₃		2500
Архейская AR	Лопийская LP (Верхнеархейская)	Среднелопийская LP ₂		2800	
		Нижнелопийская LP ₁		3000	
		Саамская SM (Нижнеархейская)		3200	
					?

ВСЕГЕИ

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского

ОБЩАЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛА ДОКЕМБРИЯ
(Стратиграфический кодекс России, 2006 с уточнениями)

Эонотема	Эратема	Система	Возраст млн. лет	ТГСГ, ГССВ	
Докембрий	Протерозойская	Неопротерозой	Эдиакарская	542	            
			Криогенийская	630	
			Тонийская	850	
		Мезопротерозой	Стенийская	1000	
			Эктазийская	1200	
			Калиммская	1400	
	Палеопротерозой	Статерская	1600		
		Орозирская	1800		
		Рясская	2050		
		Сидерская	2300		
			2500		
	Архейская	Неоархей		2800	
		Мезоархей		3200	
Палеоархей		3600			
Зоархей			Нижняя граница не определена		



Точка глобального стратотипа границы (ТГСГ) зафиксирована в одном из разрезов где-либо в мире и утверждена Международным союзом геологических наук



Глобальный стандарт стратиграфического возраста (ГССВ) установлен Международной комиссией по стратиграфии как абстрактная цифра, безотносительно какого-либо конкретного разреза докембрия, и утверждён Международным союзом геологических наук

Состояние Международной стратиграфической шкалы на 2004 г. по материалам журнала "Episodes", т. 27, № 2
Русифицировал П.В. Фёдоров

Органический мир

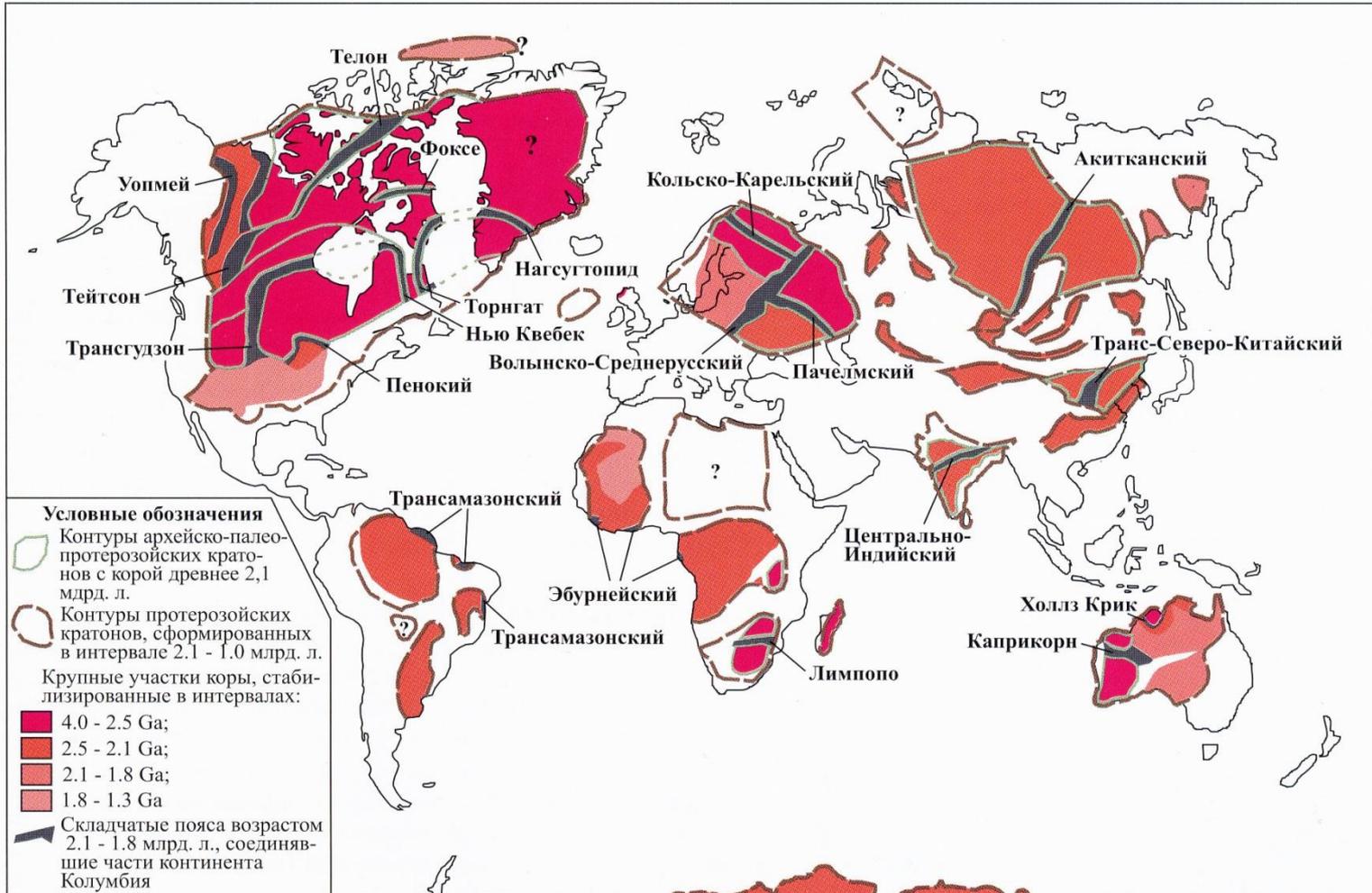
- Водоросли
- В протерозое расцвет эукариот - зеленых водорослей (они сменили прокариоты - сине-зеленые водоросли). Наряду с плавающими в воде растениями появляются нитчатые формы, прикрепленные ко дну. Около 1350 млн. лет назад отмечены представители низших грибов

Ранний протерозой (2,5-1,65 млрд лет)

- В раннем протерозое начинают широко проявляться новые структурные элементы – протоплатформы и настоящие подвижные (мобильные) пояса.
- Нижнепротерозойские образования известны не только на всех платформах, в пределах щитов и в фундаменте плит, но и во многих складчатых поясах, например, Урало-Охотском и Средиземноморском.
- Главная особенность начала раннего протерозоя – расчленение многих позднеархейских стабильных областей.
- Авлакогенная стадия развития многих платформ.

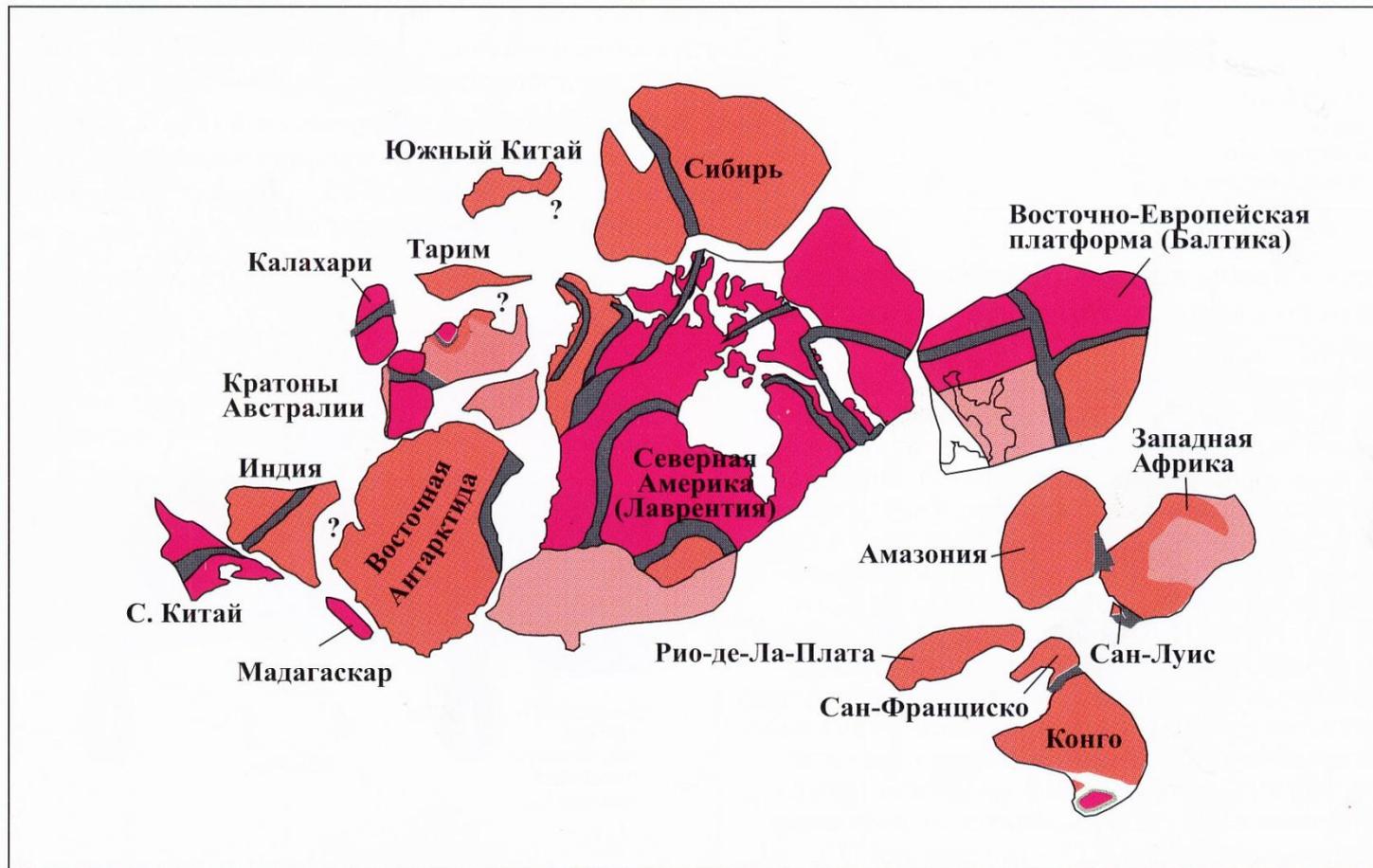
По П.В. Федорову, 2006 г.

Расположение коллизионных орогенных поясов палеопротерозоя (раннего протерозоя) в пределах докембрийских кратонов



Реконструкция континента Колумбия (Нуна) (по П.В. Федорову, 2006)

Реконструкция палео- мезопротерозойского континента Колумбия, образовавшегося 2.1 - 1.8 млрд. л. назад и распавшегося 1.3 млрд. лет назад, по Чжао (Zhao, 2002; 2004), с изменениями



Суперконтинент Колумбия (Нуна)

Колумбия (Нуна) – гипотетический суперконтинент, существовавший в период от 2,1 до 1,3 млрд лет назад. Предположение о его существовании было выдвинуто в 2002 году. Оно основано на геологических и палеомагнитных данных.

Время существования приходится на палеопротерозойскую эру. В состав Колумбии вошли почти все континентальные блоки Земли.

Размеры суперконтинента оцениваются в 12 900 км с севера на юг и около 4800 км в самой широкой части.

Колумбия начала распадаться около 1,6 млрд лет назад из-за образования рифтов вдоль западной окраины Лаврентии, Восточной Индии, южной окраины Балтики, юго-восточной окраины Сибири, северо-западной окраины Южной Африки и северной окраины Северо-Китайского блока.

На Балтийском щите широко развиты нижнепротерозойские образования, слагающие различные структурные элементы – протоплатформы, подвижные (складчатые) пояса и рифты (авлакогены).

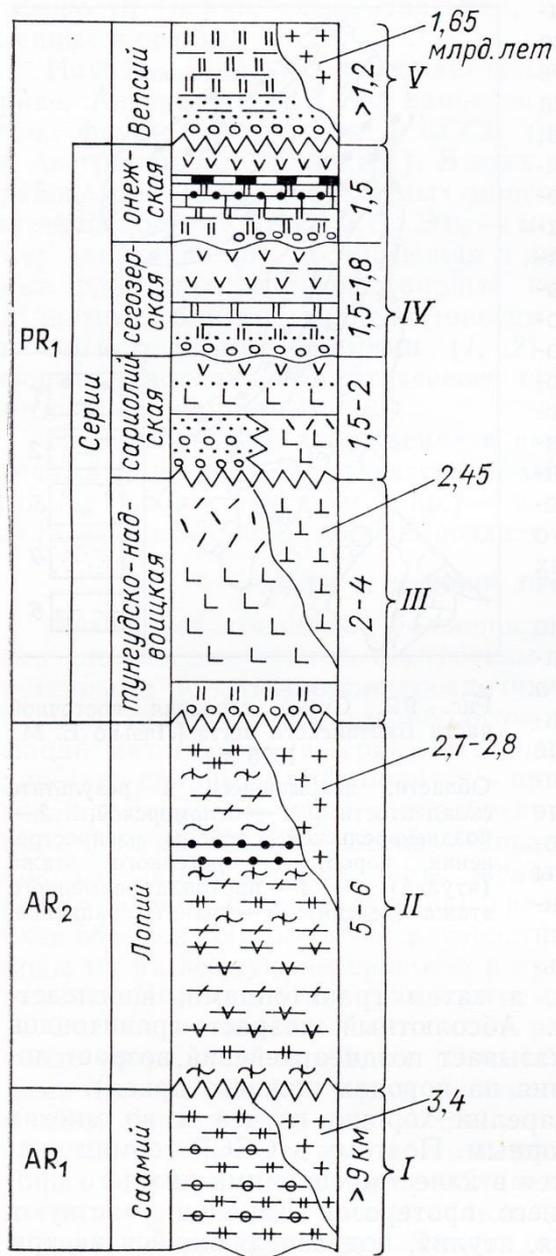


Рис. 9.3. Сводная стратиграфическая колонка докембрия Карелии (схема). I—V — структурные этажи.

Вепсий (кварциты, кварцитовидные песчаники, прослой конгломератов, покровы базальтов).

Позднекарельская складчатость

Суйсарий (прослой шунгитов, железистые кварциты)

Ятулий

Сариолий

Раннекарельская складчатость

Сумий

Беломорская складчатость

Саамская складчатость

Разрез докембрия Карелии (Владимирская и др., 1985).

- Образования нижнего протерозоя Карелии, залегающие на древнем архейском консолидированном фундаменте, накапливались в грабенообразных впадинах рифтогенного типа, возможно связанных со сдвиговыми перемещениями.
- Верхние части разреза нижнего протерозоя (суйсарий и особенно вепсий), характеризуются уже вполне платформенным обликом, отсутствием метаморфизма и деформированности.
- На Кольском полуострове образования нижнего протерозоя выполняют узкие (до 40 км) и протяженные (до 700 км) Имандра-Варзугский и Печенгский прогибы (протоавлакогены), сложенные мощной (до 20 км) осадочно-вулканогенной толщей, состоящей из нескольких крупных серий.
- На Украинском щите и Воронежском массиве известны мощные нижнепротерозойские отложения Курско-Криворожской складчатой системы, образующие асимметричный подвижный прогиб (конгломераты, песчаники, филлиты, железистые кварциты – джеспилиты). Возраст Криворожской серии 2,6-2,3 млрд лет.



Знаки ряби на поверхности
нижнепротерозойских
кварцитов. Александро-
Свирский монастырь.



Основные процессы раннего протерозоя

1. Обогащение мантии кремнеземом.
2. Выделение в океан при гидратации океанической коры кремнезема и карбонатов и в связи с этим широкое распространение осадочных кварцитов и карбонатов.
3. Появление свободного кислорода в океане и атмосфере .
4. Появление покровных ледников (тиллиты на юге Африки, в Индостане, Австралии, на Канадском и Балтийском щитах).

Гуронское оледенение

- Одно из древнейших и наиболее продолжительных оледенений на Земле.
- Началось 2,4 млрд лет назад, закончилось 2,1 млрд лет назад.
- Название – от озера Гурон в Канаде, где встречены гуронские тиллиты.
- В слоях, подстилающих гуронские ледниковые отложения, встречаются обломки уранита и пирита, что говорит о низком уровне кислорода в атмосфере до оледенения. Выше ледниковых отложений идет слой песчаника с гематитом (это указывает на высокое содержание кислорода в атмосфере).
- Причиной гуронского оледенения, очевидно, была кислородная катастрофа, при которой в атмосферу Земли поступило большое количество кислорода, выработанного фотосинтезирующими организмами. Метан, который ранее присутствовал в атмосфере в больших количествах и давал основной вклад в парниковый эффект, соединился с кислородом и превратился в углекислый газ и воду. Это, очевидно, вызвало похолодание.

Месторождения полезных ископаемых раннего протерозоя

1. Железные руды – джеспилиты (Курская магнитная аномалия, Кривой Рог, Канада, Африка и др.).
2. Золото, уран (конгломераты на юге Африки). Месторождение Витватерсранд – крупнейшее в мире (25-50% добываемого в мире золота). Самая глубокая в мире шахта – более 4,5 км.
3. Полиметаллы.
4. Шунгиты
5. Медистые песчаники Восточной Сибири (месторождение Удокан).
6. Мрамор (Карелия, Рускеальский мраморный карьер)



Рускеальский мраморный карьер, нижний протерозой





Рускеальский мраморный карьер,
нижний протерозой



Шунгиты Карелии



Поздний протерозой (1650 – 542 млн лет)

- Верхний протерозой в Общей шкале (российском варианте) подразделяется на Рифей (RF) и Венд (V). В Международной шкале венду примерно соответствует Эдиакарий.
- Рифей – древнее название Урала (Ripheus). Название предложено Н.С. Шатским для мощного комплекса отложений, развитых на Урале.
- Венд – выделен Борисом Сергеевичем Соколовым (1952 г.) на территории Прибалтики, как переходные слои от докембрия к кембрию. Название – по древнему славянскому племени вендов.

Подразделения протерозоя

Акротема	Эонотема	Эратема	Система		Возраст (млн лет)
			Вендская V	Верхний отдел V ₂ Нижний отдел V ₁	
Протерозойская PR	Верхнепротерозойская PR ₂	Рифейская RF	Верхнерифейская (Каратавская) RF ₃		570-555
			Среднерифейская (Юрматинская) RF ₂		1030
			Нижнерифейская (Бурзянская) RF ₁		1350
	Карельская KR (Нижнепротерозойская PR ₁)		Верхнекарельская KR ₂		1650
			Нижнекарельская KR ₁		2100
			Верхнелопийская LP ₃		2500
Архейская AR	Лопийская LP (Верхнеархейская)	Среднелопийская LP ₂		2800	
		Нижнелопийская LP ₁		3000	
		Саамская SM (Нижнеархейская)		3200	
					?

ВСЕГЕИ

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского

ОБЩАЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛА ДОКЕМБРИЯ
(Стратиграфический кодекс России, 2006 с уточнениями)

Эонотема	Эратема	Система	Возраст млн. лет	ТГСГ, ГССВ	
Докембрий	Протерозойская	Неопротерозой	Эдиакарская	542	            
			Криогенийская	630	
			Тонийская	850	
		Мезопротерозой	Стенийская	1000	
			Эктазийская	1200	
			Калиммская	1400	
	Палеопротерозой	Статерская	1600		
		Орозирская	1800		
		Рясская	2050		
		Сидерская	2300		
			2500		
	Архейская	Неоархей		2800	
		Мезоархей		3200	
Палеоархей		3600			
Зоархей			Нижняя граница не определена		



Точка глобального стратотипа границы (ТГСГ) зафиксирована в одном из разрезов где-либо в мире и утверждена Международным союзом геологических наук



Глобальный стандарт стратиграфического возраста (ГССВ) установлен Международной комиссией по стратиграфии как абстрактная цифра, безотносительно какого-либо конкретного разреза докембрия, и утверждён Международным союзом геологических наук

Состояние Международной стратиграфической шкалы на 2004 г. по материалам журнала "Episodes", т. 27, № 2
Русифицировал П.В. Фёдоров

Органический мир венда

- В начале 30-х годов XX века в местечке Эдиакара Южной Австралии австралийский исследователь Р. Спринг нашел отпечатки бесскелетных многоклеточных организмов. В 1947 г. вышла его работа «Раннекембрийские медузы хребта Флиндерс Южной Австралии». К середине XX века была собрана богатая коллекция из нескольких сотен отпечатков, которые интерпретировались как остатки медуз, морских перьев и червей. Австралийский палеонтолог М. Глесснер первым предположил, что возраст «эдиакарской фауны» древнее кембрийского.
- Вся фауна венда – бесскелетная, представлена исключительно отпечатками.
- В России остатки вендской фауны найдены на Зимнем берегу Белого моря (Архангельская область).

Холмы Эдиакары, Австралия



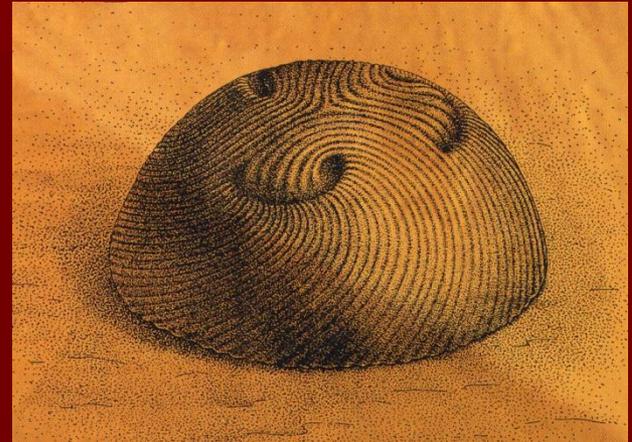
Зимний берег Белого моря (фото А.Ю. Иванцова).
В этих отложениях найдены отпечатки вендских животных.



Животные венда

- В биосфере венда господствовали микроорганизмы. Дно обширных мелководных морей и низменные участки суши покрывали ковры бактериальных матов, кое-где колыхались «леса» лентовидных водорослей. Вода морей и океанов была мутной – ее некому было фильтровать.
- Вендские отпечатки животных – «непонятные», их не с кем сопоставлять. Вендских, как и современных многоклеточных животных, делят на две большие группы: радиально-симметричные (Radiata) и двусторонне-симметричные (Bilateria).
- Современные радиаты относятся к типу стрекающие (кишечнополостные) – медузы, кораллы и гребневники.

Радиально-симметричные формы



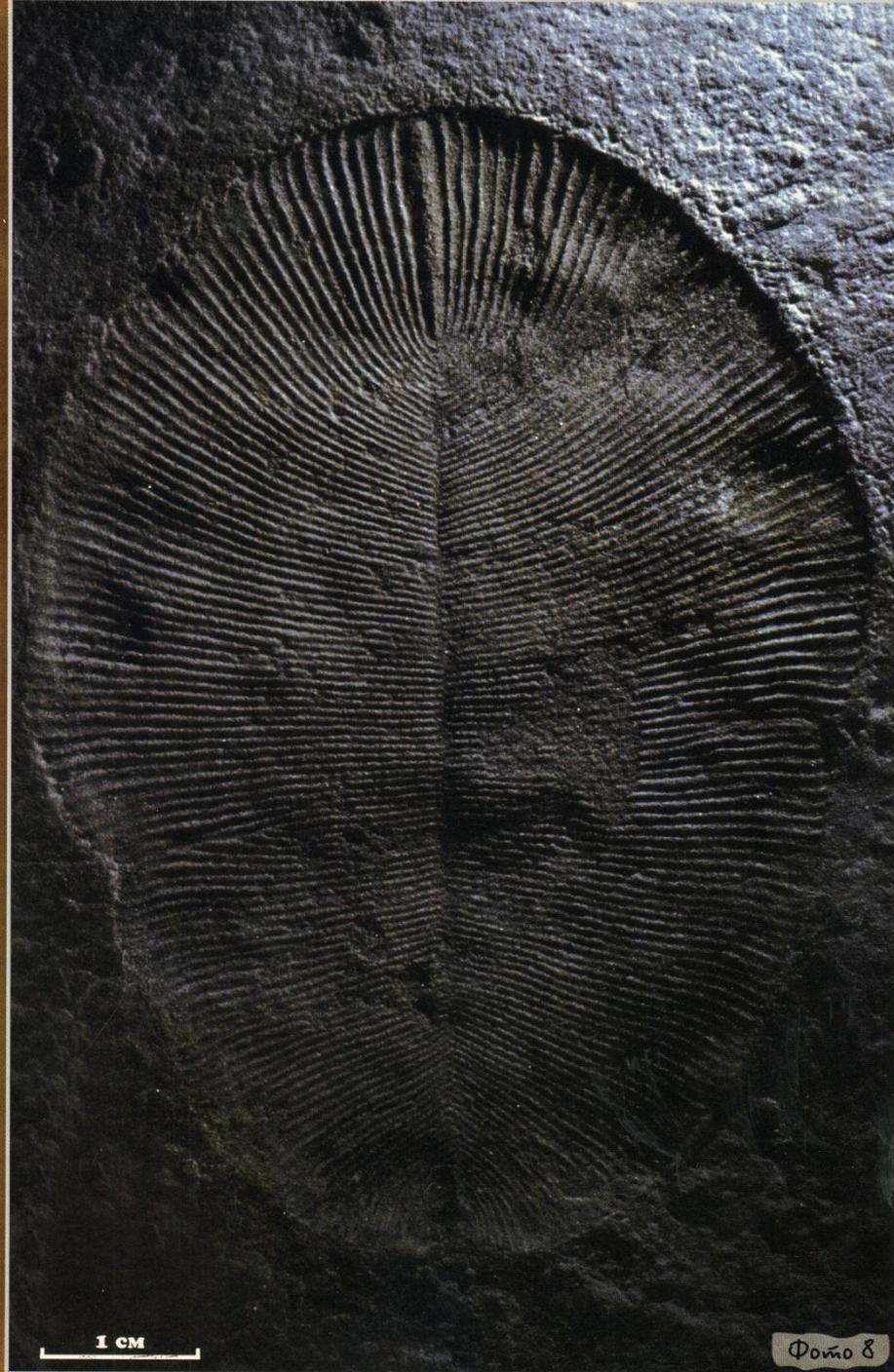
- Трибрахиდიум – означает «трехрукий». Отпечаток его напоминает трехлучевую свастику. Трибрахидиум считается прикрепленным животным.
- Для вендской биоты обычны формы с осью симметрии третьего порядка, которые даже выделяются в особый класс трехлопастных кишечнополостных (Trilobozoa).
- (Малаховская, Иванцов, 2000)

Двусторонне-симметричные формы

Поперечно-расчлененные

- Большая часть известных вендских билатерий имеет «как бы сегментированное» строение. У вендских животных половинки сегментов всегда немного сдвинуты друг относительно друга вдоль продольной оси отпечатка. Такой сдвиг можно назвать симметрией скользящего отражения. На эту важнейшую особенность строения вендских животных впервые обратил внимание М.А. Федонкин. В строении беспозвоночных фанерозоя такая симметрия не распространена.
- Вендских поперечно-расчлененных животных относят к особому типу беспозвоночных – проартикулятам (**Proarticulata**), вымершему еще в докембрии.

Диккинсония



- Один из самых известных и распространенных родов в венде. Самая крупная в мире диккинсония происходит из Эдиакары (1,5 м в длину). На Зимнем берегу Белого моря найден экземпляр длиной около 0,5 м.
- Малаховская, Иванцов, 2000

Андива



- Возможно, животное обладало плотным покровом или даже неминерализованной раковиной.
- Малаховская, Иванцов, 2000

Вендия

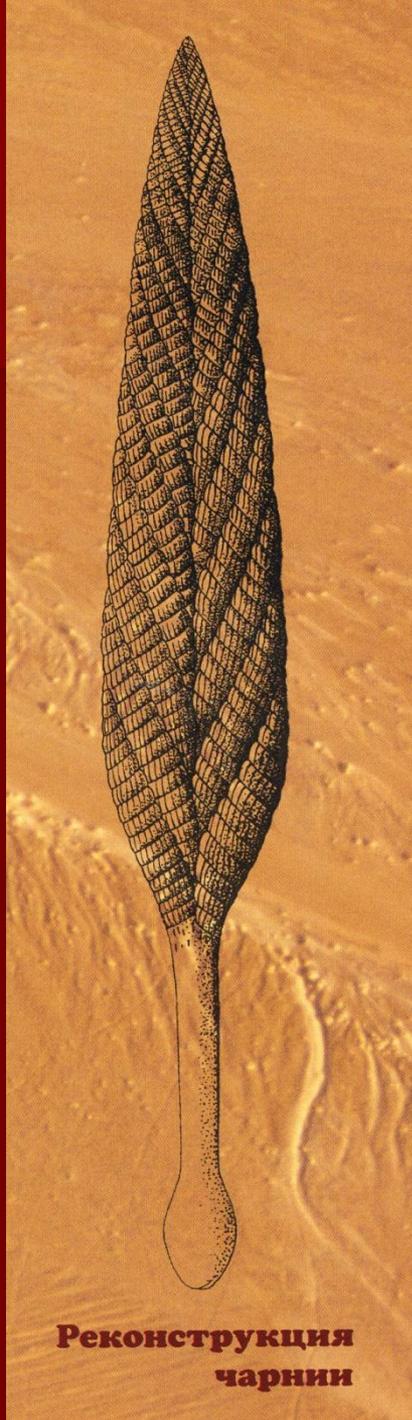


- *Vendia sokolovi* – вероятный предок трилобитов. Отпечатки вендий не превышают в длину 2 см.
- Малаховская, Иванцов, 2000.

«Перистые формы»

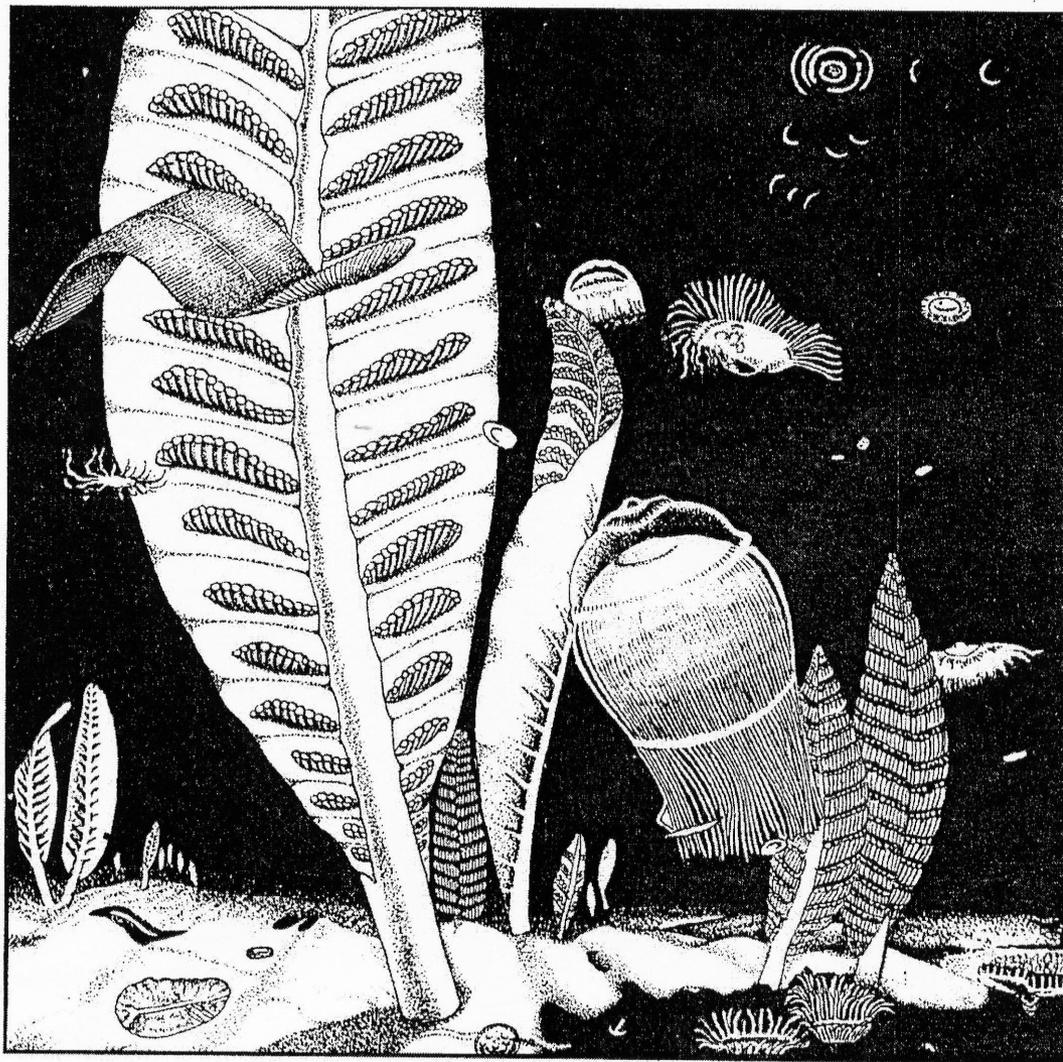
- «Перистые формы» или петалонамы.
- Главную часть отпечатка представляет «перо», состоящее из многочисленных мелких «перышек». Вниз от «пера» у многих отходил стебель с прикрепительным образованием грушевидной или дисковидной формы в основании.

Чарния



**Реконструкция
чарнии**

- По уровню организации, очевидно, ближе всего к кишечнополостным (морским перьям). Основная их часть вела сидячий образ жизни, но некоторые, возможно, плавали.
- Малаховская, Иванцов, 2000



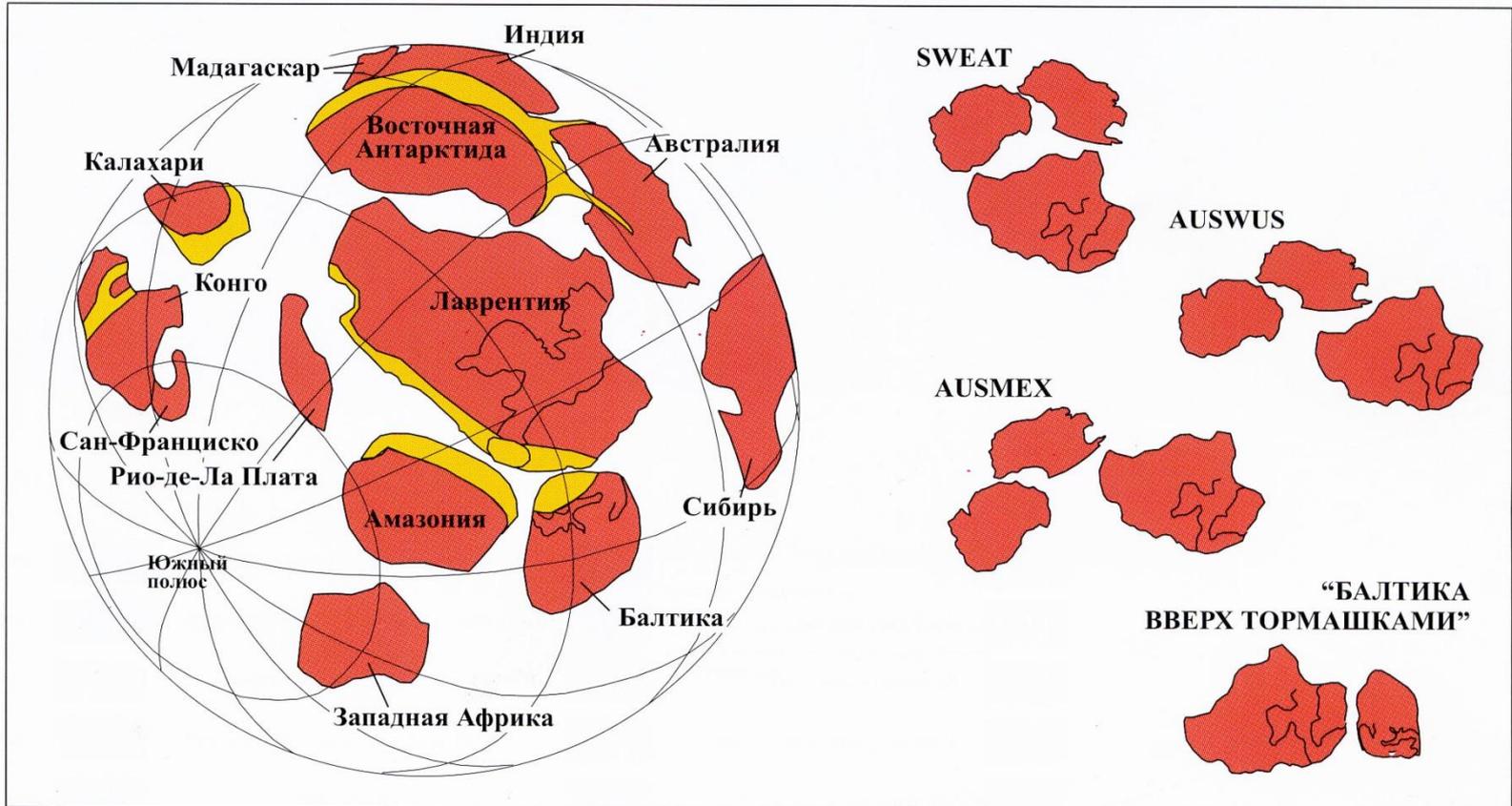
Фиг. IV.9. Эдизкарская фауна (реконструкция Robert Allen и Mary Wade, с разрешения Alan Bartholomai, музей Квисленда, Австралия)

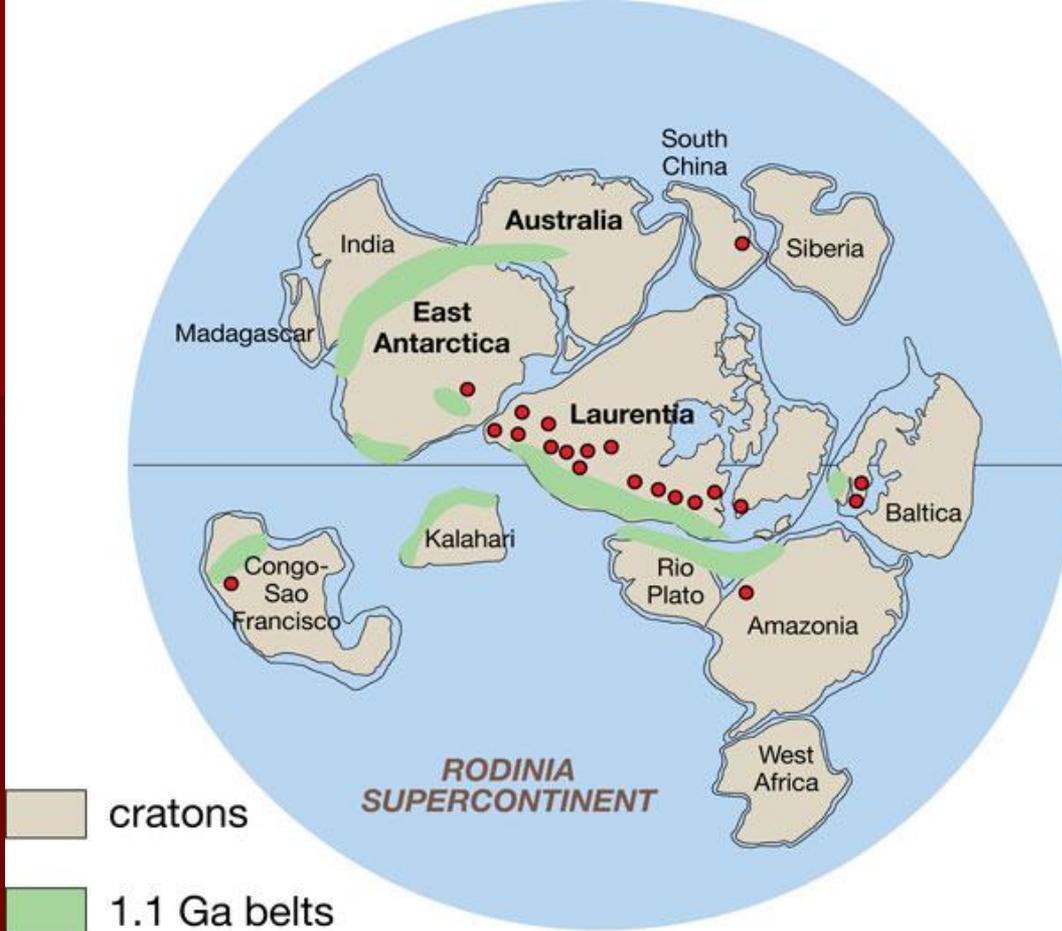
Ранний и средний рифей. Палеотектонические и палеогеографические условия.

- По палеомагнитным данным доказывалось существование в рифее суперконтинента Родиния.

Родиния (по П.В. Федорову, 2006)

Реконструкция суперконтинента Родиния, существовавшего в мезо- неопротерозое (среднем- позднем рифее) 1100 - 850 млн. л. назад, по Вейлу (Хаин, 2001) с изменениями, и обсуждаемые в научной литературе варианты соединения континентов в пределах Родинии





Суперконтинент Родиния. Согласно одной из палеоклиматических реконструкций, во время существования Родинии на планете наступил глобальный ледниковый период (криогений). Большая часть Родинии была расположена вблизи экватора.

- Структуры, унаследованные от раннего протерозоя – подвижные зоны (Муйская зона на юге Сибири, зоны в Африке и Австралии) и гранулитогнейсовые пояса (Индия, Австралия).
- Большая часть континентальной коры развивалась в условиях поднятий, которые сопровождались мощным наземным щелочным вулканизмом и гранитами рапакиви.
- На некоторых участках стабильных областей континентов развиваются впадины типа синеклиз с обломочными и карбонатными осадками большой мощности. На Сибирской платформе – карбонатный средний рифей.
- На ряде платформ на их периферии возникает сеть рифтов – будущих авлакогенов. Это авлакоген на западном склоне Урала, Юдомо-Майский авлакоген и др. В среднем рифее появляются новые авлакогены в Северной Америке, Европе, Сибири. Самый крупный – *авлакоген Мидконтинента* в Северной Америке – длиной 2500 км, шириной 100-200 км. По сейсмическим данным глубина авлакогена – до 32 км (половина его заполнена базальтами). Консолидированная кора под осевой частью авлакогена утонена до 25-30 км (по периферии – до 55 км).

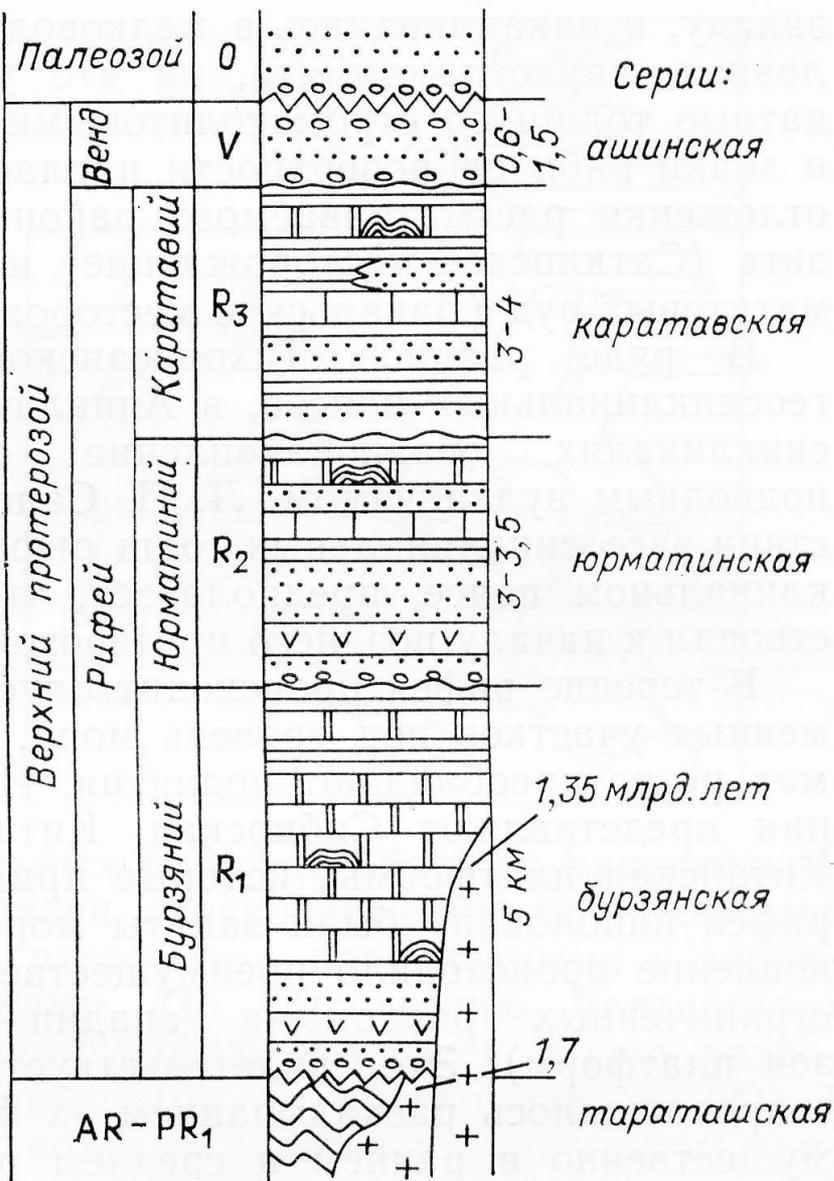


Рис. 9.8. Разрез рифейских отложений западного склона Южного Урала (Башкирский антиклинорий).

- Разрез рифейских образований западного склона Южного Урала (Владимирская и др., 1985).

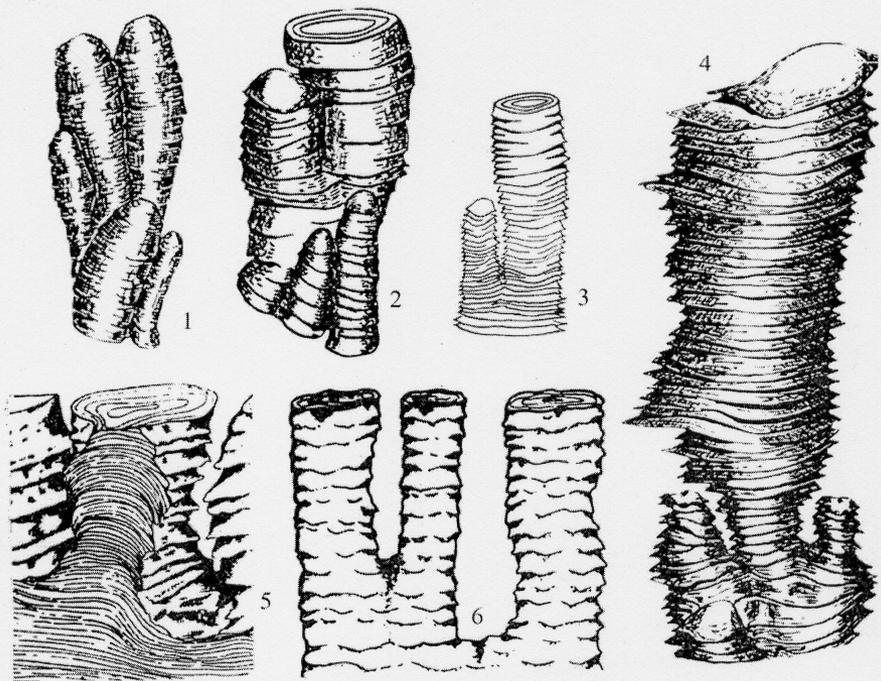


Рис. 32. Нижнерифейская ассоциация в типовом разрезе Южного Урала нижнего рифея:

1 – *Omachtenia givunensis* Nuzhn.; 2, 4 – *Omachtenia omachtensis* Nuzhn.; 3, 5, 6 – *Kussiella kussiensis* (Masl.) Nuzhn.

Рифейские строматолиты

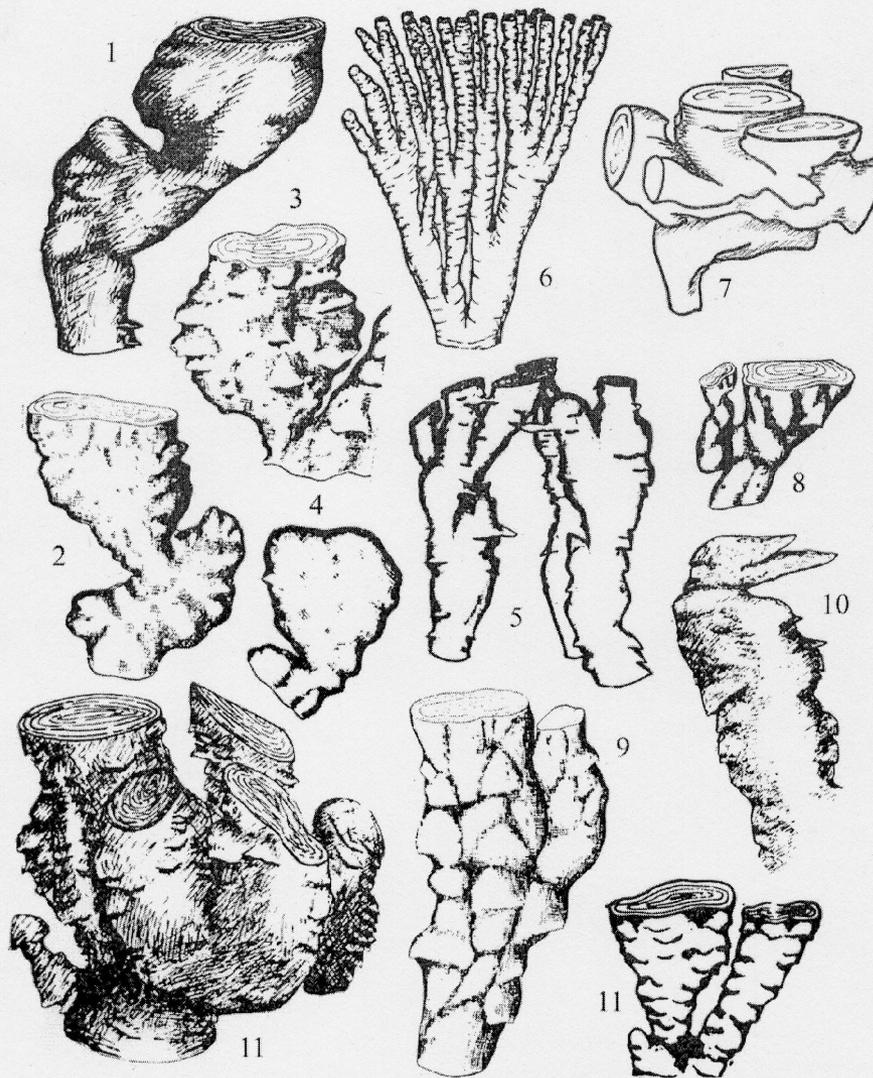


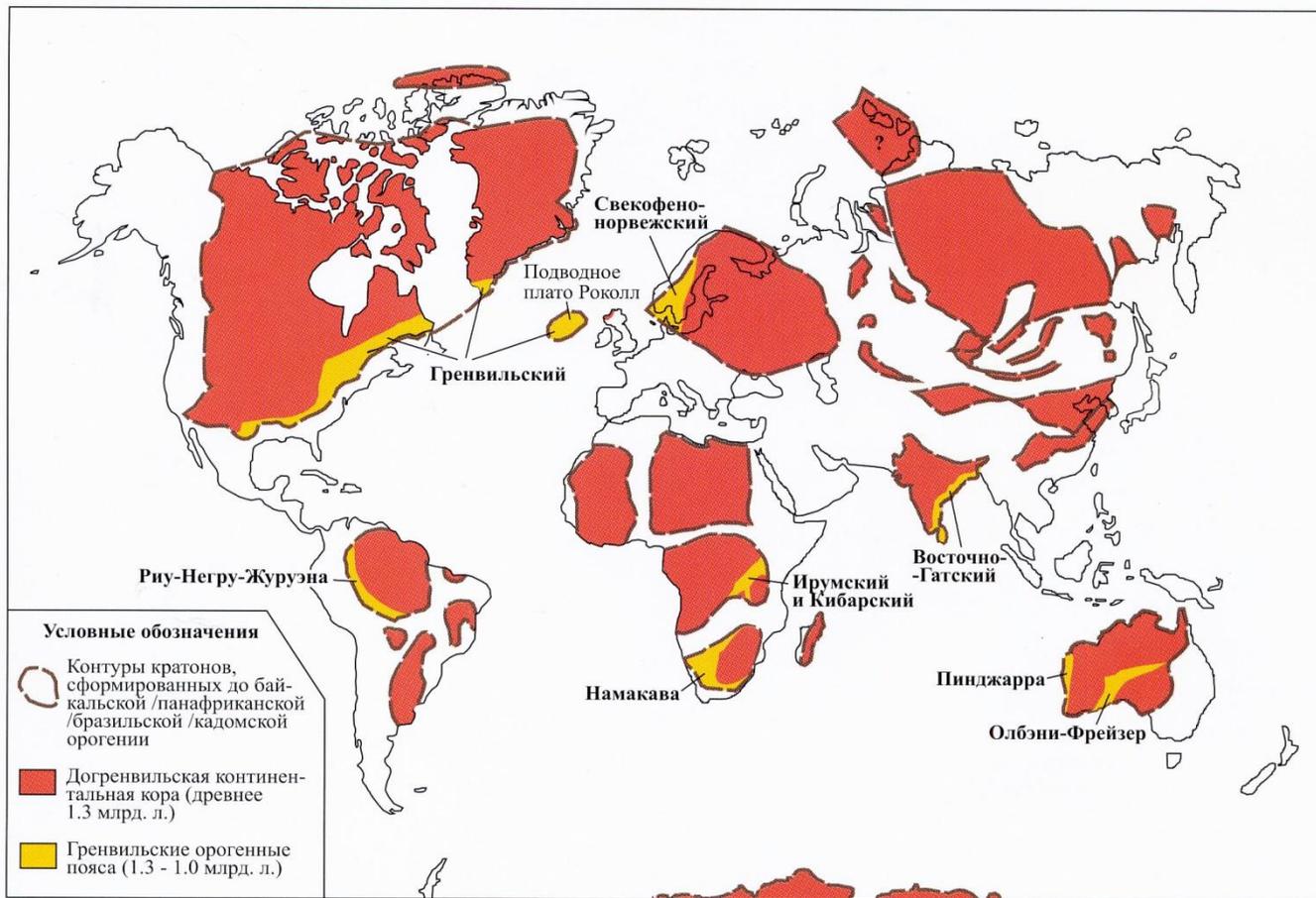
Рис. 34. Среднерифейская ассоциация в Учуро-Майском районе (гипостратотип рифея Сибири):

1 – *Baicalia prima*; 2, 3 – *Baicalia baicalica*; 4 – *Baicalia kirghisica*; 5, 12 – *Baicalia prima*; 6 – *Anabaria radialis*; 7 – *Tungussia nodosa*; 8, 9 – *Baicalia baicalica*; 10 – *Baicalia maica*; 11 – *Baicalia minuta* [Семихатов, 1962; Нужнов, 1967; Крылов, 1963. 1967; Комар, 1966]

В *среднем рифее* продолжают свое развитие заложенные ранее гранулит-гнейсовые пояса.

Самый крупный – Гренвильский пояс Северной Америки (от Техаса до Лабрадора). Его развитие закончилось сжатием (*Гренвильский тектогенез*). Он проявился повсеместно – на Северо-Американской, Австралийской, Индостанской и Восточно-Европейской платформах

Расположение орогенных поясов мезопротерозоя, сформированных в ходе гренвильской орогении

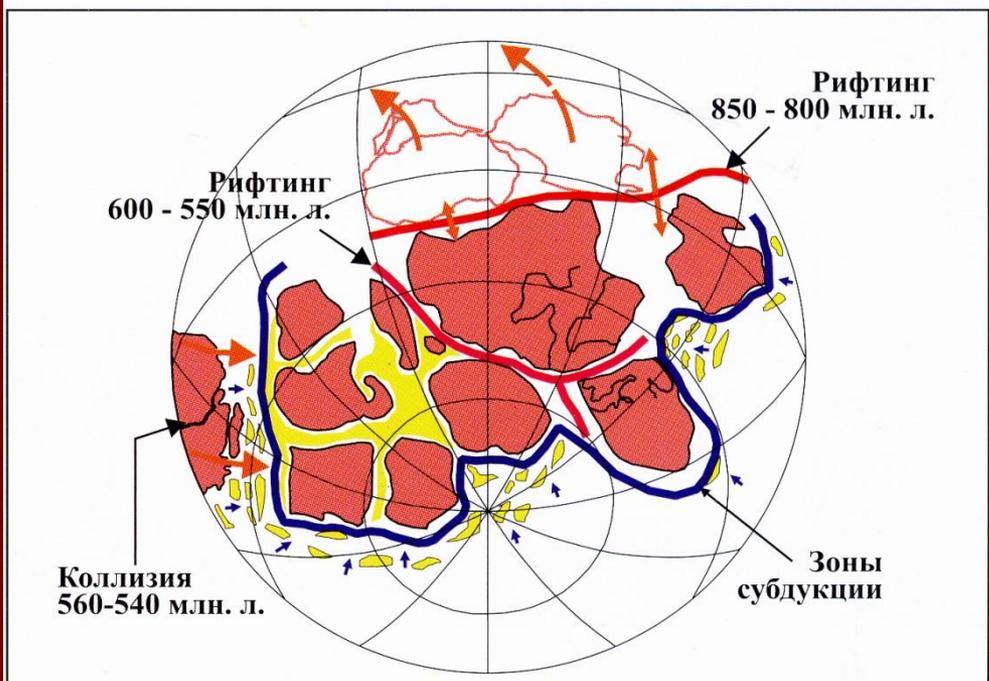


По П.В. Федорову,
2006 г.

Поздний рифей

- Поздний рифей – эпоха распада Родинии и начала раскрытия океанов. Начало отделения Гондваны. **Гондвана** (от названия племени гондов и района Вана в Индии) – древний суперконтинент, объединявший все южные материки и Индостан.

Схема распада Родинии, формирования позднедокембрийских орогенов и Гондваны

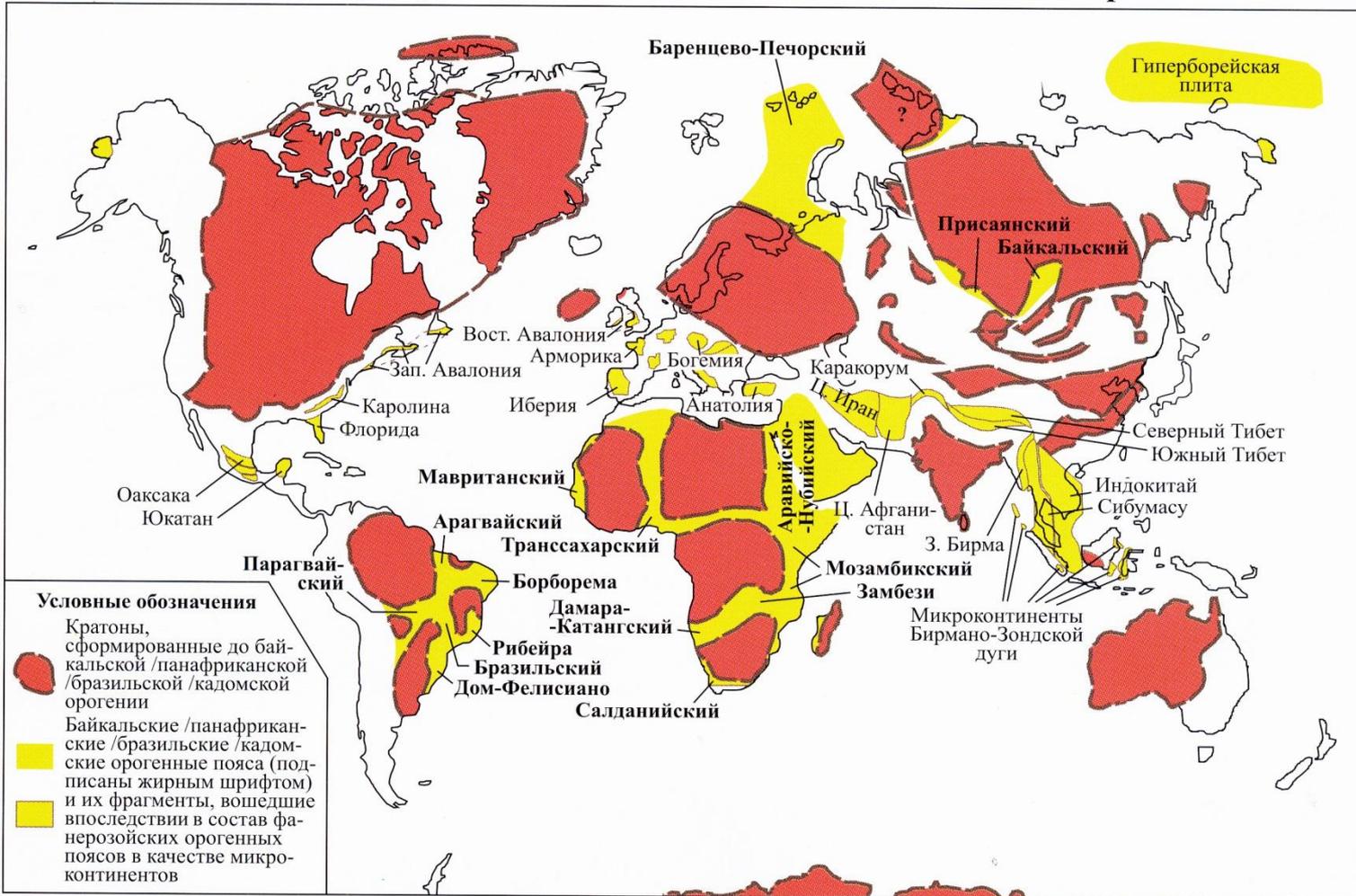


По П.В. Федорову, 2006 г.

- В позднем рифее между Северной Америкой и Европой (Балтией) сначала заложилась континентальная рифтовая система, а затем произошло раскрытие океана – Протояпетуса.
- Протояпетус – прообраз будущего палеозойского океана Япетус (*по имени одного из богов Древней Греции*).
- В позднем рифее на территории Балтии возникает целый ряд авлакогенов (Рязано-Саратовский, в Белоруссии, Карелии и др.). Они заполнены эффузивами, карбонатами, сероцветными осадками мощностью до 3 км.
- Происходит распад Гондваны в результате образования Аравийско-Мозамбикского подвижного пояса (Мозамбикский океан). Океан разделяет Западную и Восточную Гондвану.
- В позднем рифее, возможно, начал образовываться Тихий океан.

Конец рифея – начало венда – крупная эпоха тектогенеза, известная под разными названиями на разных континентах (панафриканская, бразильская, кадомская, байкальская)

Расположение орогенных поясов позднего докембрия, сформированных в ходе панафриканской /бразильской /кадомской /байкальской орогении, и их фрагментов, вошедших в состав фанерозойских складчатых систем в качестве микроконтинентов



По П.В. Федорову,
2006 г.

В результате байкальского тектогенеза происходит слияние Западной и Восточной Гондваны в единый континент, просуществовавший почти до середины мезозоя.

Климаты рифея

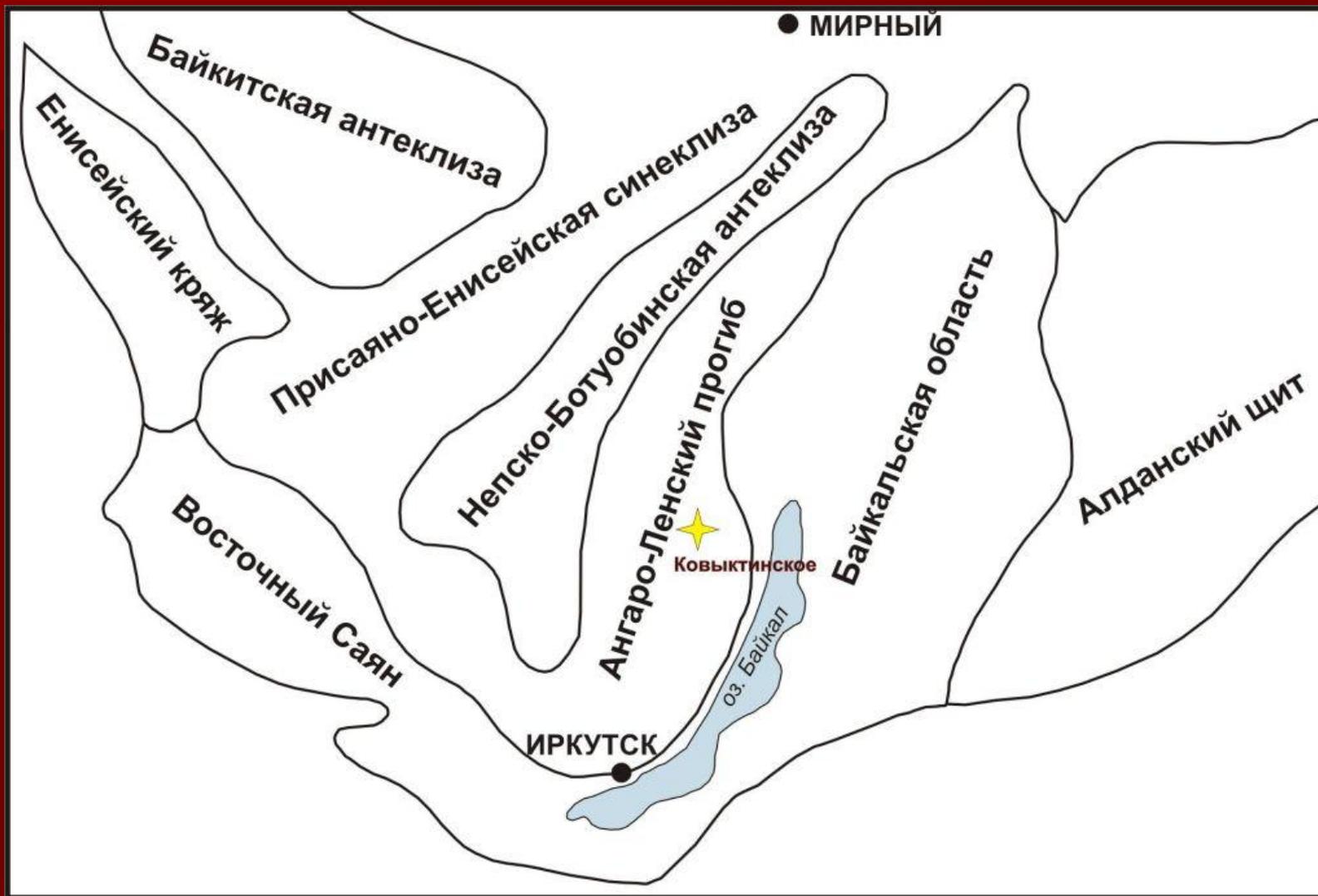
В раннем и среднем рифее господствовал мягкий морской климат (судя по широкому развитию известняков и доломитов со строматолитами).

Присутствие красноцветов в ряде случаев указывает на аридный климат.

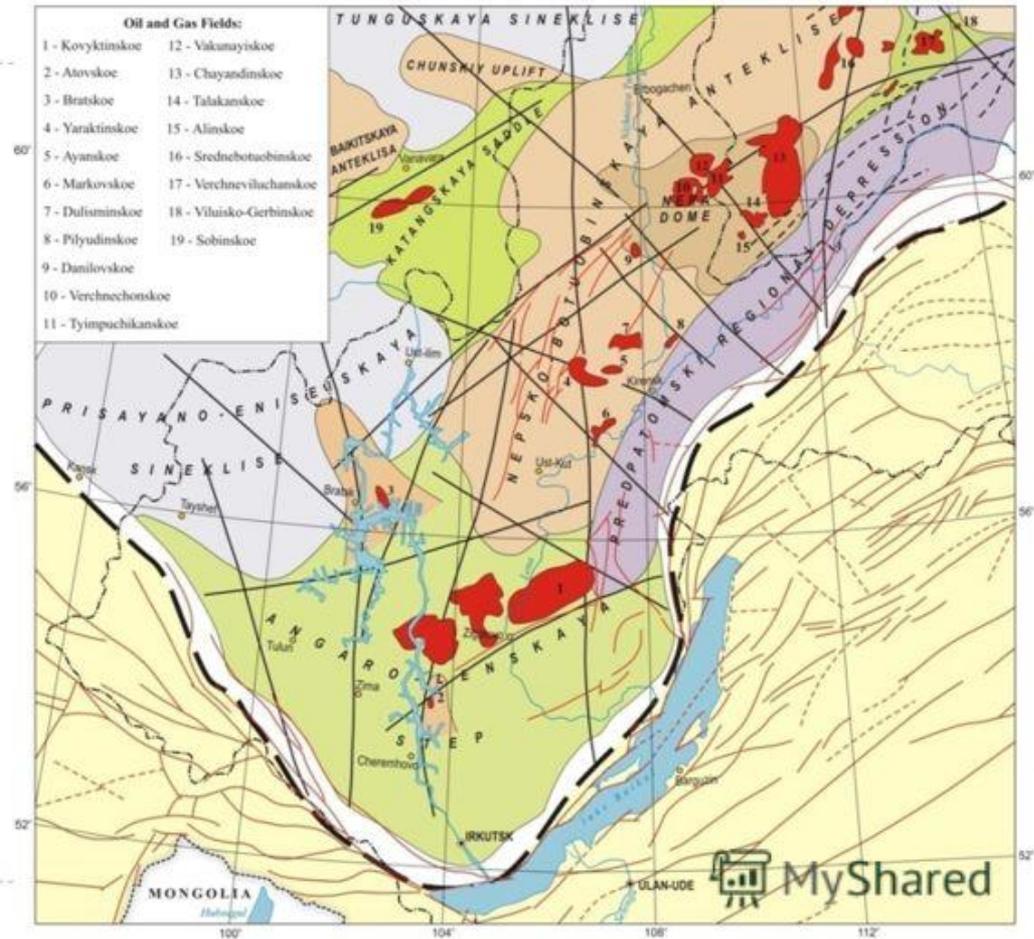
В конце среднего и в позднем рифее происходит понижение температуры (судя по ледниковым отложениям – тиллитам). Тиллиты установлены в ряде районов Африки, Австралии, в Аппалачах, Гренландии, Бразилии. Это доказывает обширное оледенение.

Месторождения полезных ископаемых верхнего протерозоя

1. Железные руды (сидерит-гематитовые пластовые руды)
2. Медные руды
3. Полиметаллы – свинец, цинк, кобальт (Австралия)
4. Крупные урановые месторождения (связанные с магматизмом)
5. Алмазы (россыпи, Индия)
6. Нефть, газ (Восточная Сибирь, Непско-Ботуобинская структура)

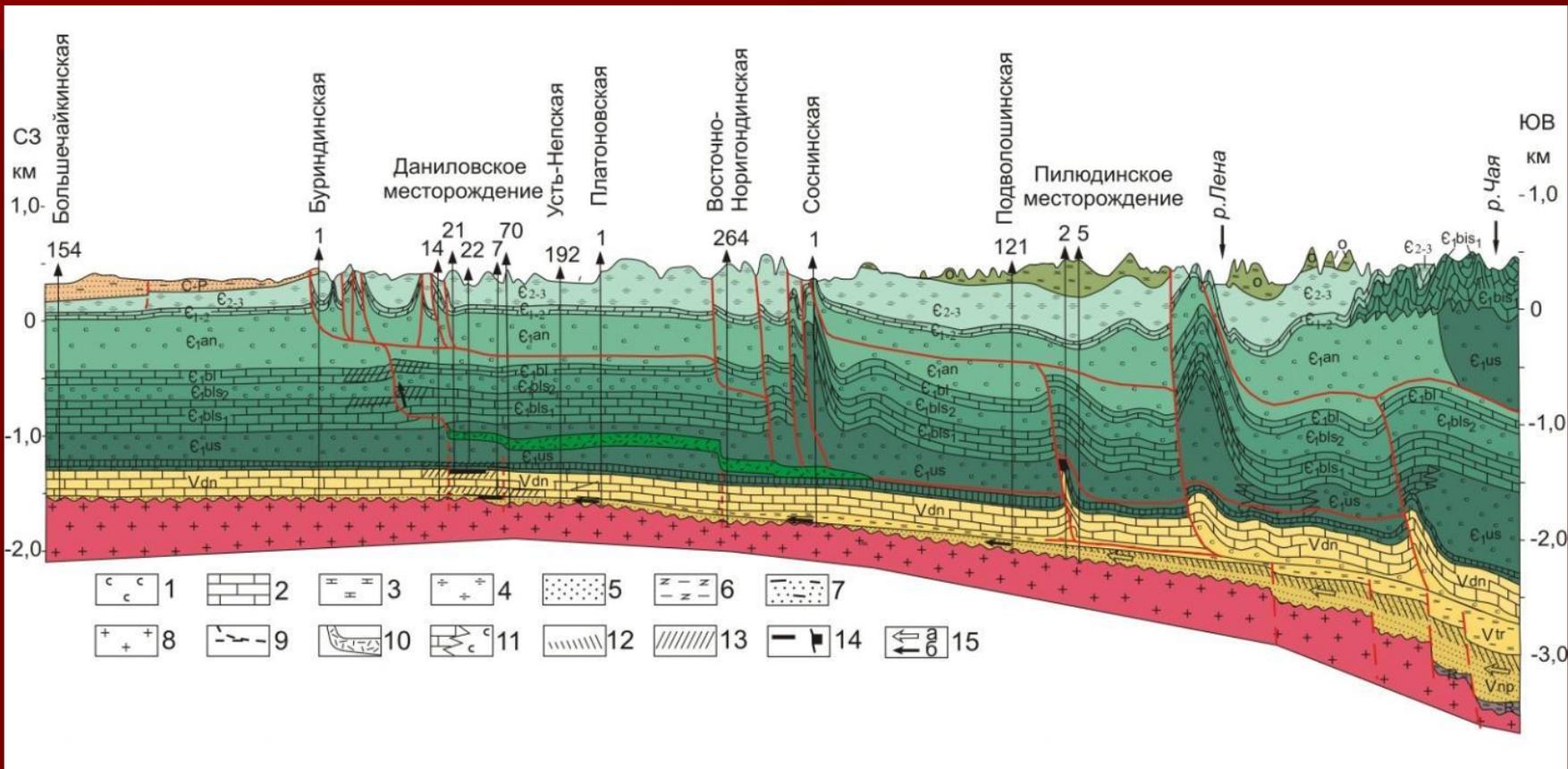


Тектоническая карта юга Сибирской платформы



Большинство месторождений юга Сибирской платформы расположено в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы и Ангаро-Ленской ступени





Венд

- Континенты распавшейся Родинии находились в низких широтах и близко друг от друга.
- Раскрытие центральной части Палеоазиатского океана с образованием океанической коры (офиолиты Центрального Казахстана, Алтае-Саянской области и Северной Монголии). *Офиолиты* – реликты океанической коры на континентах (комплекс ультраосновных и основных интрузивных горных пород, эффузивов – базальтов и глубоководных кремнистых отложений).
- Еще один пояс океанической коры – в Западной Европе (океан Прототетис).
- На месте Северной Атлантики существовал океан Япетус (он существовал недолго и замкнулся в конце венда).
- На Восточно-Европейской и Сибирской платформах развивается трансгрессия. Венд ближайших окрестностей Санкт-Петербурга представлен песчано-глинистыми неметаморфизованными осадками Валдайской серии с остатками лентовидных бурых водорослей *Laminarites* (до 200 м). На Сибирской платформе венд представлен, в основном, карбонатными осадками со строматолитами (терригенные осадки лишь на юге).
- С отложениями венда связаны месторождения нефти и газа в Восточной Сибири.

Реконструкция положения континентов (конец венда, 540 млн. лет назад)

