

Министерство просвещения Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский педагогический государственный университет»

Римский Александр Алексеевич

**ПЕРВЫЕ НАХОДКИ ИСКОПАЕМЫХ ЭДИАКАРСКИХ
ОРГАНИЗМОВ В ВЕРХНЕМ ВЕНДЕ ЮГА СИБИРСКОЙ
ПЛАТФОРМЫ**

Код и направление подготовки: 05.03.02 — География
Направленность (профиль) образовательной программы:
Экологическая география

Выпускная квалификационная работа
(бакалаврская работа)

Научный руководитель —
доц., к.г.н. Ежов Артем Юрьевич

Научный консультант —
в.н.с. ГИН РАН, к.г.-м.н.
Колесников Антон Владимирович

Заведующий кафедрой
геологии и геохимии ландшафтов
к.г.н., доц. Е. А. Фураев

Проверка на объем заимствований:
_____ % авторского текста

Москва — 2021 год

Оглавление

Введение	1
Глава 1. Эдиакарская мягкотелая биота как этап биологической эволюции ...	4
1.1. Открытие и систематика	4
1.2. Биогеоценозы	8
1.3. Исчезновение из фанерозойской геологической летописи	15
Глава 2. Сибирская платформа в верхнем протерозое.....	18
2.1. Структурно-фациальное районирование.....	18
2.2. Вендский бассейн Уринского поднятия.....	22
Глава 3. Находки остатков эдиакарских организмов на Уринском поднятии	28
3.1. Авалонский кластер остатков ченчинской свиты	28
3.2. Намский кластер остатков жербинской свиты	29
3.3. Восставшие: беломорский кластер остатков нохтуйской свиты	32
Заключение.....	35
Список использованных источников.....	37

Введение

До середины прошлого века подавляющее большинство геологов не разделяло представление о венде, как о новом подразделении общей стратиграфической шкалы. Находки ископаемых вендских организмов относили к кембрию и более молодым периодам [4].

В начале второй половины XX в. Б. С. Соколов предложил выделять венд как сумму отложений, включающих последние в протерозое тиллиты и слои с полным интервалом распространения ископаемых мягкотелых остатков [11, 29]. Вендская система получила широкое мировое признание [47, 62, 83, 84], однако, к 2004 г. неформальное подразделение Стандартной глобальной хроностратиграфической шкалы, официально вытеснила более полная по объему система эдиакарская [65]. Стратотипом нижней границы эдиакария принята подошва доломитов лапландского оледенения формации Никкалина в Южной Австралии. Вслед за Гражданкиным и Масловым мы употребляем «венд» как неформальный верхний отдел эдиакария [5]. Термин научно обоснован данными хемотратиграфии [73] и биостратиграфии [60], а также удовлетворяет формальным требованиям.

Изучение стратиграфии и геологической корреляции верхнего докембрия — одно из главных и фундаментальных направлений современной геологии России. Ни одно подразделение Общей стратиграфической и Международной хроностратиграфической шкал не провоцирует столько мнений и суждений относительно методики выделения, расчленения, корреляции, установления объема и стратиграфической приуроченности, как вендские или эдиакарские осадочные комплексы верхнего докембрия. В то же время, основными вопросами стратиграфической и палеонтологической характеристики венда выступают нестыковки стратотипических разрезов с современными требованиями и региональными стратиграфическими шкалами верхнего докембрия Восточно-Европейской и Сибирской платформ. Одним из проблемных регионов, с точки зрения стратиграфии и геологической

корреляции осадочных толщ, было Уринское поднятие Сибирской платформы. Во многом по причине отсутствия надежных палеонтологических данных, таких как остатки эдиакарских мягкотелых организмов, подтверждающих эдиакарский возраст формирования патомского бассейна.

В настоящее время исследование остатков эдиакарских мягкотелых организмов — одно из важнейших фундаментальных направлений в области изучения и моделирования общей эволюции жизни на Земле в позднем докембрии и раннем фанерозое. С эдиакарской биотой связаны возникновение сложноустроенных экосистем и первое экологическое разделение макроскопических организмов в позднем докембрии (~580–540 млн л. н.) на глобально прослеживаемые палеоэкологические сообщества — авалонские, беломорские (Ediacara-тип) и намские [93]. Макробиота эдиакария, известная нам исключительно благодаря уникальной сохранности в виде отпечатков, слепков или примитивных агглютинированных скелетных остатков, представлена настолько разнородными ассоциациями вымерших организмов, что установление их положения на филогенетическом древе эволюции до сих пор проблематично, и мировое сообщество не пришло к консенсусу относительно того, как функционировали эти живые системы прошлого.

Обнаружение богатого комплекса остатков эдиакарских мягкотелых организмов на юге Сибирской платформы в августе 2020 г., при непосредственном участии автора исследования, уточнило современное представление о возрасте большей части разреза верхнего докембрия Уринского поднятия и внесло вклад в понимание эволюционных процессов на ранних этапах развития Metazoa.

Объект исследования — осадочные комплексы верхнего докембрия Уринского поднятия.

Предмет исследования — остатки эдиакарских организмов и вмещающие их породы Уринского поднятия.

Цель исследования — проверить гипотезу о присутствии как минимум трех экологических типов сообществ ископаемых эдиакарских макроорганизмов в отложениях юга Сибирской платформы.

Задачи исследования:

1. Изучить общее геологическое строение Сибирской платформы по литературным данным;
2. Проследить стратиграфическое распространение ископаемых эдиакарских организмов по разрезу жуинской и трехверстной серий Уринского поднятия;
3. Изучить биоту нижних слоев кембрия Уринского поднятия для возможного установления природы экологического перехода на границе докембрий–кембрий;
4. Описать литологию пород, вмещающих остатки эдиакарских макроорганизмов;
5. Сопоставить слои, вмещающие отпечатки эдиакарских организмов, с изотопной аномалией $\delta^{13}\text{C}$.
6. Описать морфологию найденных остатков эдиакарских организмов;
7. Изучить таксономию обнаруженных на Уринском поднятии ископаемых эдиакарских организмов;
8. Сравнить коллекцию находок ископаемых эдиакарских организмов юга Сибирской платформы с коллекциями типовых местонахождений на Белом море (Зимний берег), в Намибии (группа Нама), Австралии (Ediacara Hill).

Глава 1. Эдиакарская мягкотелая биота как этап биологической эволюции

1.1. Открытие и систематика

Эдиакарский период (635–541 млн. л. н.) — самый молодой геологический интервал времени в докембрии, предшествовавший кембрийскому взрыву видового биоразнообразия. Нижнюю границу эдиакария выделяют по окончанию оледенения Марино, верхнюю — по появлению организмов с минеральным скелетом. Название «эдиакарский» период получил по лагерштетту Ediacara Hills на юге Австралии.

Первое описание макроостатков эдиакарского типа сделал Биллингс в 1872 году. Он назвал и описал *Aspidella terranovica* на основе невероятного количества дисковидных отпечатков в неопротерозойских слоях восточной части Ньюфаундленда [42]. В 1877 году стало известно об остатках любопытных концентрических колец биологического происхождения с поверхностей эдиакарского возраста в Чарнвудском лесу Англии [63]. К середине XIX века таинственную коллекцию дополнили «медузы» и фрондоморфные отпечатки мягких тел из эквивалентных по возрасту толщ Намибии и Австралии [61, 88]. Однако в геологической парадигме того времени толщи эдиакарского возраста были «азойными», предшествовали появлению жизни. В подавляющем большинстве найденные остатки относили к неорганическим конкрециям, осадочным текстурам, окаменелостям в более молодых палеозойских породах.

Парадигма подверглась изменению после описания в 1958 году листовидных отпечатков *Charnia masoni* длиной 10–25 см из местонахождения в Чарнвудском лесу Англии. Поблизости были найдены уже известные концентрические кольца, которые были описаны как слепки мест крепления стебля — *Charniodiscus concentricus* (рис. 1). Автор указал на глобальное распространение подобных макроостатков в породах докембрийского возраста [54].



Fig. 1.

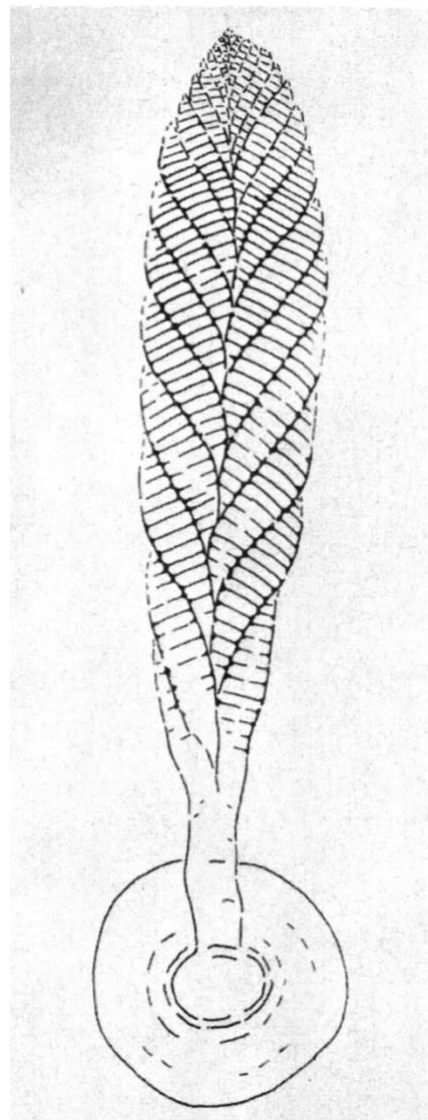


Рисунок 1. Голотип *Charnia masoni* и *Charniodiscus concentricus* [54]

Начиная с 1960-х годов остатки макроорганизмов верхнего неопротерозоя относили к царству животных: морским перьям [58], кольчатым червям [92]. Однако с 1970-х господствовало мнение о необходимости выделения новых типов [77] или даже отдельного вымершего «экспериментального» царства Vendobionta [80, 81]. Постепенный переход от радикальных теорий привел научное сообщество к представлению о полифилетической природе эдиакарских организмов [50, 96]. Д. В. Гражданкин подразделяет эдиакарские организмы на 7 групп: Rangeomorpha, Frondomorpha, Palaeopascichnida, Dickinsoniomorpha, Tribrachiomorpha, Bilateralomorpha, Petalonamae (рис. 2) [60].

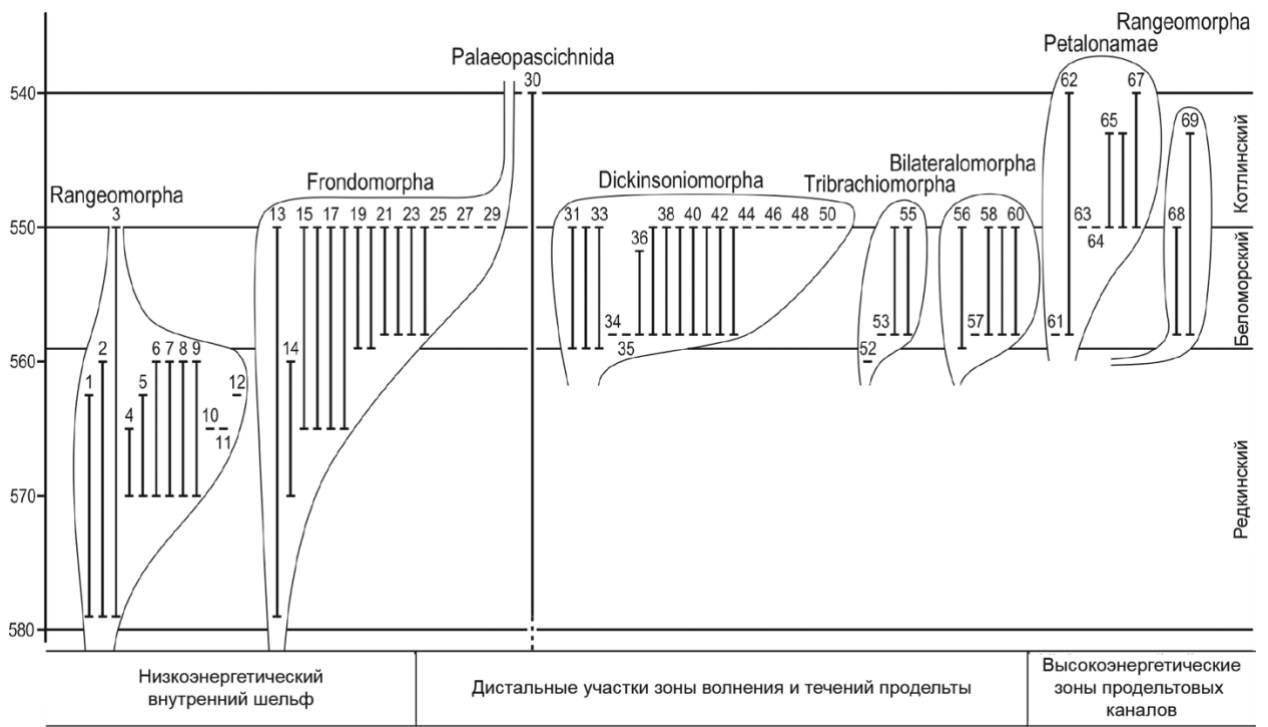


Рисунок 2. Эдиакарская биота в пространстве и времени. Цифрами от 1 до 69 обозначены виды представителей указанных морфотипов (переведено с [60])

M. Laflamme с соавторами описывает 10 групп ископаемых эдиакарских макроорганизмов: Rangeomorpha, Sponges, Arboreomorpha, Triradialomorpha, Dickinsoniomorpha, Erniettomorpha, Tetraradialomorpha, Bilateralomorpha, Kimberellomorpha, Pentaradialomorpha (рис. 3).

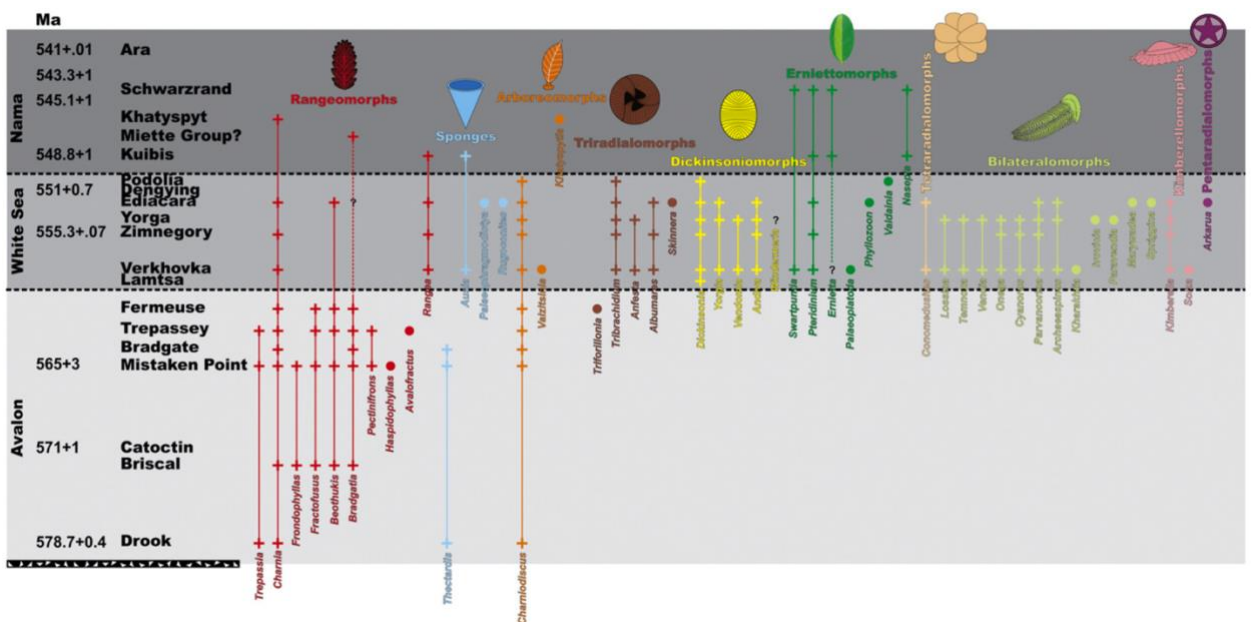


Рисунок 3. Группы эдиакарских организмов и их пространственно-временное распределение [67]

Другие ученые выделяют еще большее число морфогрупп организмов, что только подтверждает вывод о загадочности природы эдиакарских организмов [72].

Особенность морфологических типов *Rangeomorpha*, *Frondomorpha*, *Dickinsoniomorpha*, *Petalonamae* — похожая на стеганое одеяло повторяющаяся текстура. Закономерное положение частей макроостатков интерпретируют либо как метамерную сегментацию, либо как средство биомеханической жесткости гидравлического каркаса, наподобие надувного матраца. Такую форму объясняют с точки зрения метаболизма, как средство увеличения площади внешней поверхности. Это могло быть необходимо для дыхания в то время, когда атмосфера и морская вода содержали меньше кислорода, чем сегодня. А. Зейлахер предполагал, что соотношение большой площади поверхности тела к малому объему позволяло эдиакарским организмам абсорбировать кислород и растворенные в воде органические вещества путем диффузии через стенку тела. Таким образом не возникала необходимость во рту, пищеварительном тракте или органах дыхания. Другой вариант — ассоциация с фотосимбиотическими водорослями, которые в обмен на пищу и кислород получали комфортную фрндоморфную среду обитания [79].

Отсутствие следов изменения осадка при движении, а также морфологического различия между передним и задним концами тела, за исключением родов *Kimberella*, *Spriggina*, *Parvancorina* указывает на сидячий образ жизни эдиакарских макроорганизмов [52, 79].

Последние данные изучения биомаркеров остатков органического вещества *Dickinsonia* с местонахождений Лямца на Белом море продемонстрировали в органических пленках фосфоритов значительное преобладание холестероидов, отличительного признака животных за исключением губок и нескольких таксонов моллюсков [45]. Однако холестероиды органических пленок *Dickinsonia* показали одинаковую $5\beta(H)$ стереохимию, которая больше характерна для живых организмов, чем для

претерпевшего захоронение органического вещества. Единственный путь к этому стероиду, неформально названному копростаном — стероидный копростанол, который вырабатывается в кишечнике высших млекопитающих. Считается, что копростан нестабилен в геологических временных масштабах [89].

Биомаркерный анализ стеранов с гопанами, а также неразветвленных алканов из пленок *Beltanelliformis* продемонстрировал характерное для цианобактерий распределение. По морфологии *Beltanelliformis* сравнивают с современными сферическими пресноводными колониями цианобактерий рода *Nostoc*. *Beltanelliformis* может быть как ранним морским представителем ностоковых колоний, так и принадлежать к вымершему таксону [44].

Систематическое положение эдиакарских организмов остается противоречивым. Трудности проистекают из огромного эволюционного расстояния, отделяющего фауну эдиакария от современных организмов. Предки эдиакарских организмов неизвестны, а палеозойские и более молодые потомки не очевидны [51].

1.2. Биогеоценозы

Макроостатки эдиакарских организмов известны из 30 местонахождений на всех современных материках, кроме Антарктиды (рис. 4).

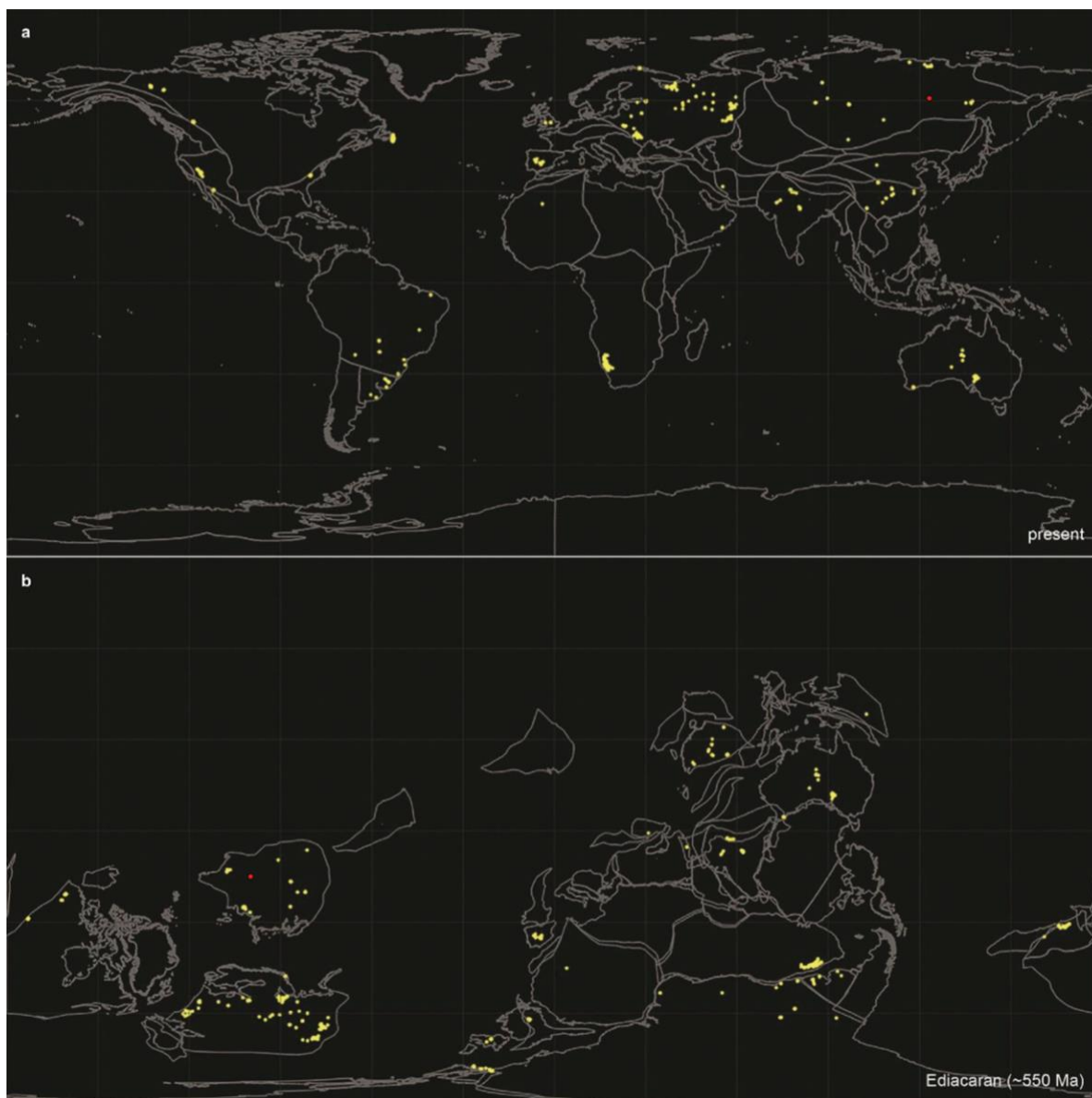


Рисунок 4. Карта находок, относимых к эдиакарской макробиоте. а — современное местоположение плит, б — местоположение плит в эдиакарский период. Красной точкой отмечено местонахождение остатков из верхнего венда юга Сибирской платформы (составлено по [72])

На основе ассоциаций макроостатков выделяют биостратиграфические зоны (биозоны) или кластеры. Биозону описывают как набор литологических пачек, представляющих одновозрастные стратиграфические уровни и ассоциацию сохранившихся в них таксонов. Принципы парсимонии [93], неметрического многомерного шкалирования (NMDS) [43] делят местонахождения ископаемых эдиакарских организмов на три кластера: авалонский, беломорский и намский. Однако метод иерархической кластеризации выделяет дополнительный кластер — миаохэ.

Авалонский кластер включает местонахождения на о. Ньюфаундленд, северо-западе Канады и в Великобритании, где относительно глубокие турбидитовые последовательности (подводные илистые равнины) содержат эдиакарские рангеоморфные и фрондоморфные макрофоссилии (рис. 5) [60]. Расцвет ассоциации отмечен в отложениях возрастом 580–560 млн. л. [67].

Беломорский кластер описывают в России и Южной Австралии, где фации дистальных участков зоны течения и волнения содержат наиболее богатый комплекс макроостатков, в том числе и загадочных организмов с трех- и пятилучевой симметрией, нехарактерной для современных животных (рис. 5) [60]. Во всей полноте беломорский кластер раскрыт в отложениях возрастом 555–550 млн. л. [67].

Намский кластер представлен остатками в Намибии, Южном Китае, на западе США и соответствует фациям высокоэнергетических зон продельтовых каналов (рис. 5). В большей части местонахождений ассоциации присутствуют организмы группы петалонам и рангеоморф (рис. 2) [60]. Считают самым молодым эдиакарским кластером, достигшим пика разнообразия 545–542 млн. л. н. [67].

Некоторые ученые настаивают на существовании четвертого кластера Миаохэ, впервые описанного из сланцев Берджес в Южном Китае [95], а позже — на Белом море и Среднем Урале России (рис. 5) [6]. Кластер включает комплекс неминерализованных углефицированных остатков макроорганизмов [95] и приурочен к трансгрессивным шельфовым фациям с низкими темпами поступления обломочного материала и низкими темпами волновой переработки осадка. Расцвет экологической ассоциации зафиксирован в отложениях древнее 557–558 млн. л. [3, 27] с комплексом макроскопических микробных колоний, многоклеточных и ценоцитных эукариотических макроводорослей.

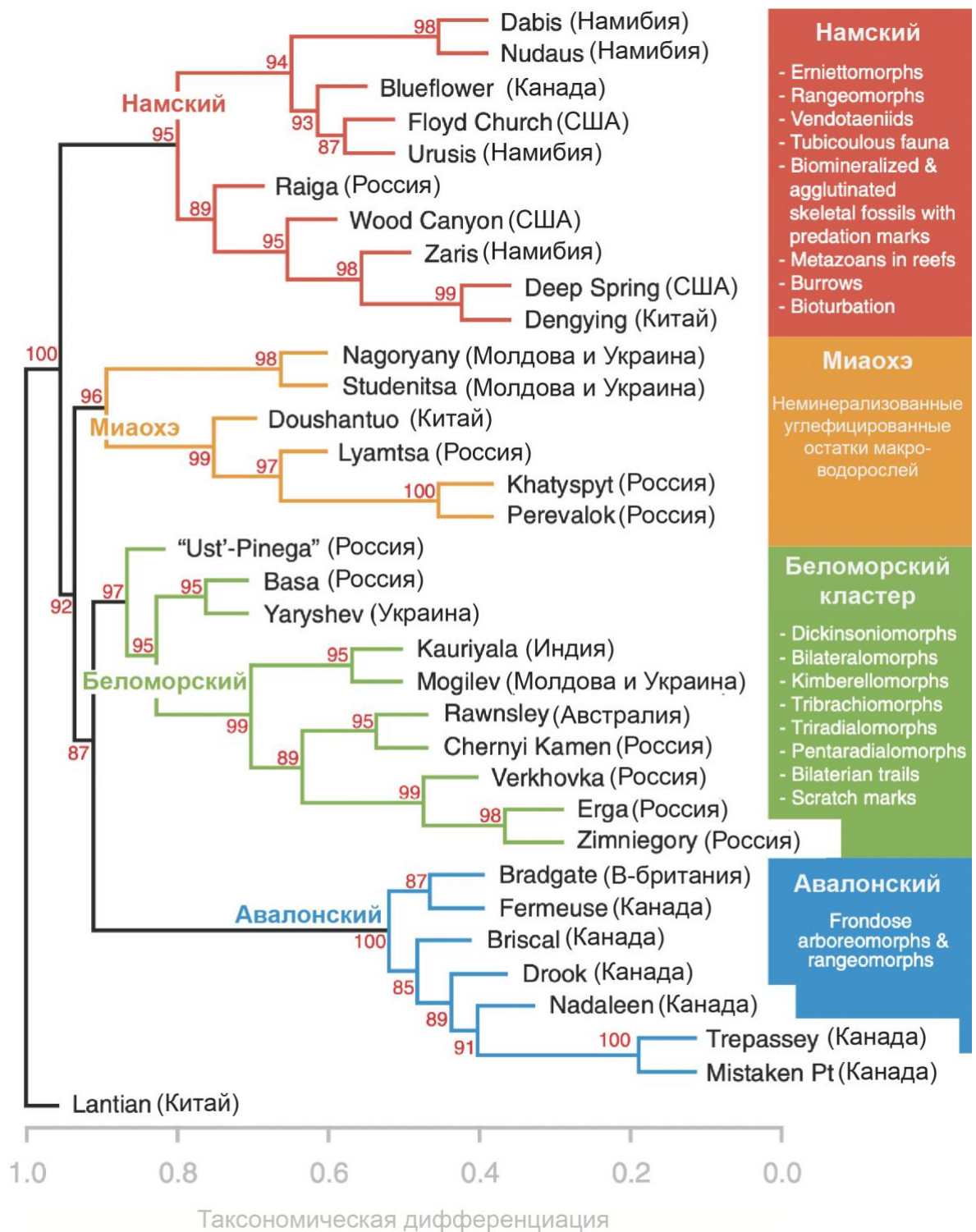


Рисунок 5. Иерархическая кластеризация. Дендрограмма 34 геологических свит, содержащих 5 родов макрофоссилий или ихнородов эдиакарского возраста. Свиты были кластеризованы на основе таксономических различий (ось абсцисс) с использованием алгоритма средней связи. Красные цифры — несмещенная оценка вероятности появления узла (AU — Approximately Unbiased). Снизу-вверх указаны экологические ассоциации с преобладающими типами остатков эдиакарских организмов (переведено с [72])

Метод иерархической кластеризации свидетельствует о четырех группах свит эдиакарского периода как минимум с пятью родами и их нотаксонами. Эти группы включают намские, беломорские, авалонские кластеры, а также миаохэ (рис. 5). Лантианская свита Китая, которая содержит раннюю лантианскую эдиакарскую биоту не входит в эти кластеры. На территории России доминируют находки беломорской экологической ассоциации [72].

Сетевой анализ на рис. 6 подтверждает, что, выделенные с помощью иерархической кластеризации палеосообщества таксономически различаются. Беломорский кластер пересекается с намским и авалонским, что делает его самым таксономически богатым (рис. 6 b).

В двудольной сети палеообстановок и эдиакарских родов выявлено три узла (рис. 7). Каждый включает в себя палеосреду и множество родов, поэтому напоминает биотоп.

Наименьший узел — глубоководный биотоп, который состоит из таксонов авалонского кластера (рис. 7 а,с). Более крупный — мелководный биотоп, который преимущественно состоит из родов беломорского и намского кластеров (рис. 7 а,с). Крупнейший узел — промежуточный по глубине биотоп с характерными находками экологических ассоциаций миаохэ и беломорской (рис. 7 а,с).

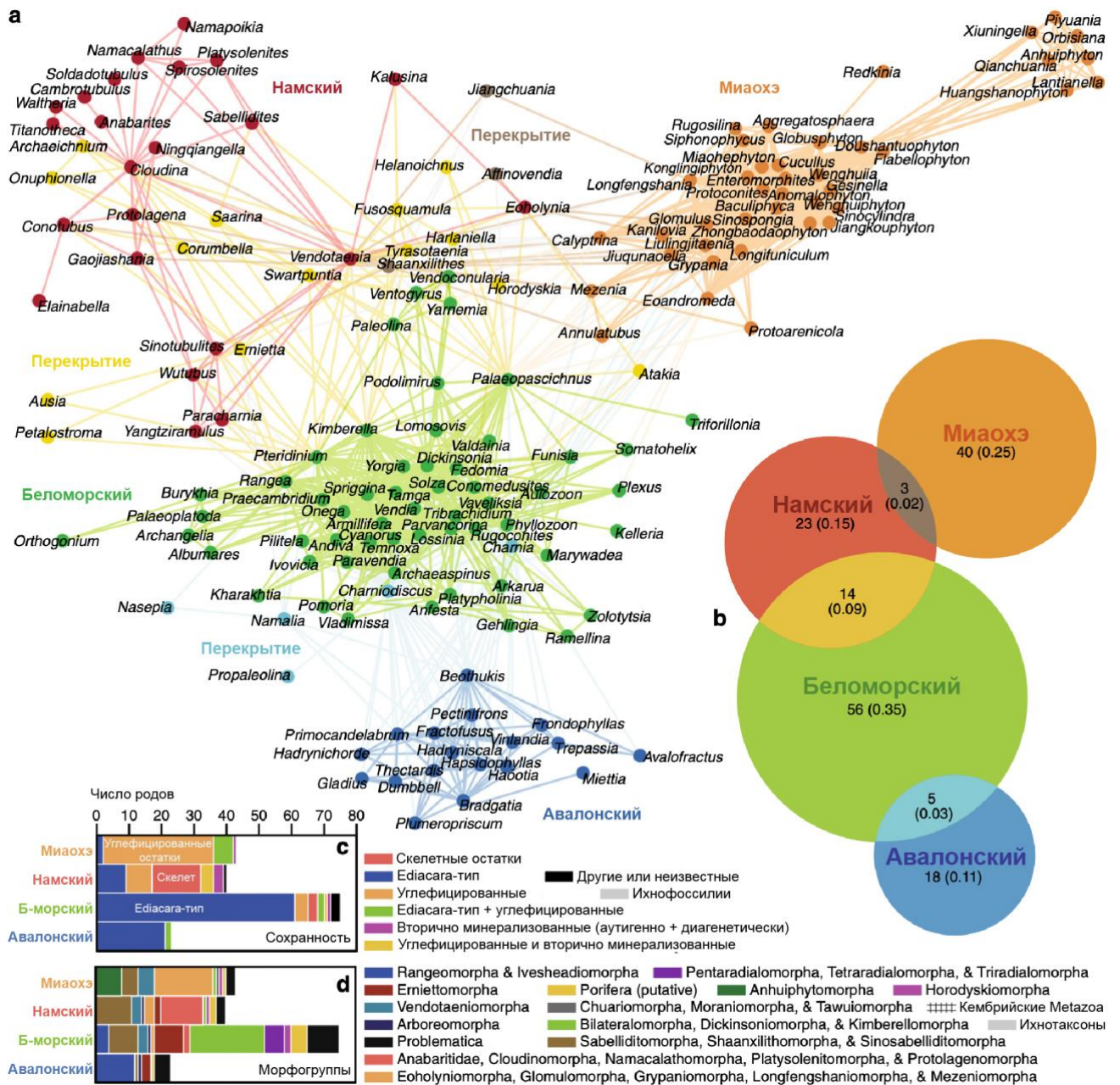


Рисунок 6. Однодольная сеть родов эдиакарских макроостатков. а — сетевой граф. Два рода связаны, если об их сонахождении сообщалось в одной или нескольких точках сбора остатков. Цветами обозначены кластеры. b — диаграмма Венна иллюстрирует перекрытие модулей. Площади кругов соответствуют относительному количеству родов, числа — количеству таксонов, а значения в скобках — пропорциям. c, d — составные гистограммы, которые показывают количество родов + в модулях, тип сохранности остатков (c) и морфогруппы (d) (переведено с [72])

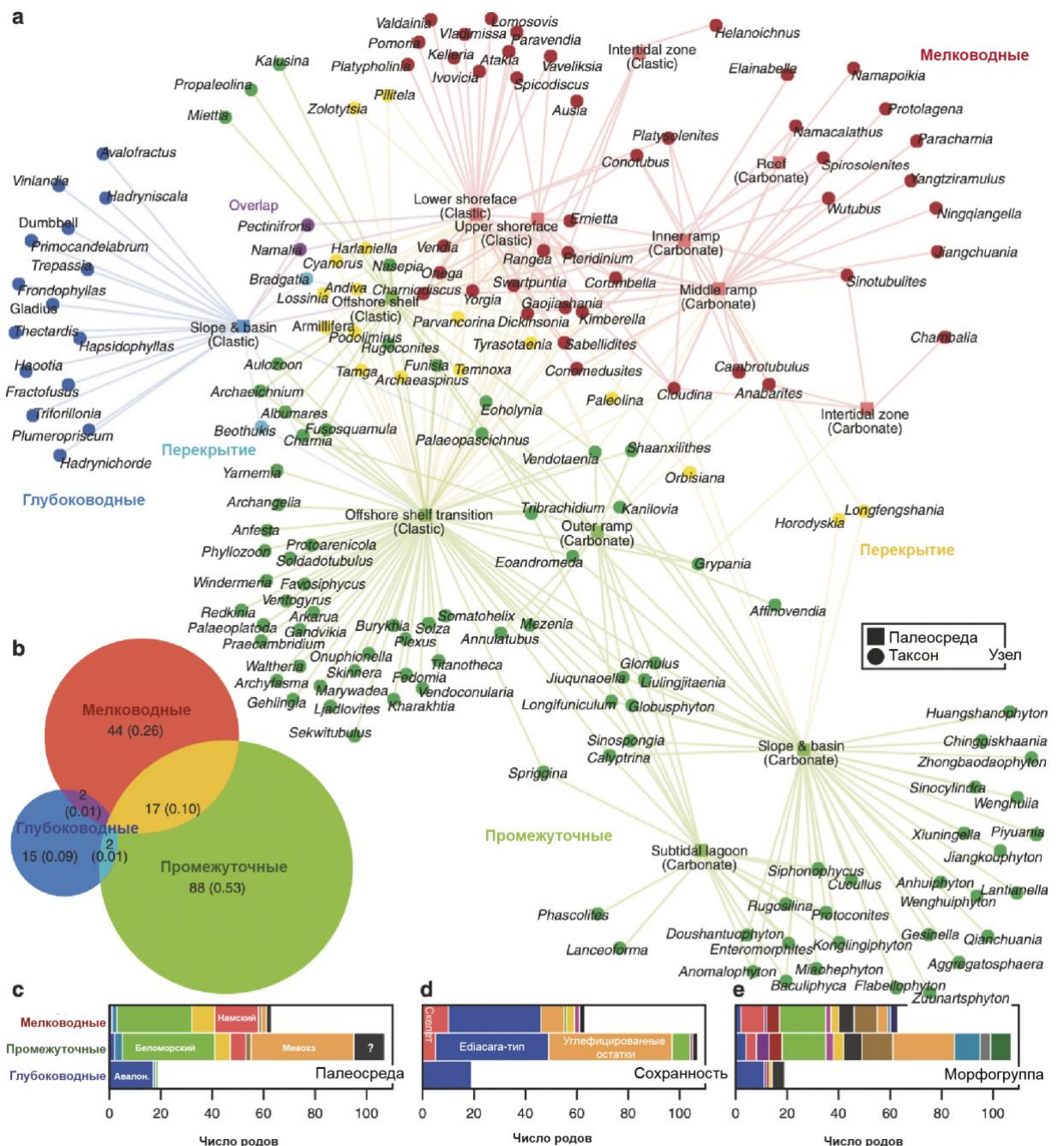


Рисунок 7. Двудольная сеть палеообстановок и ископаемых эдиакарских макроостатков. a — сетевой граф, на котором род и палеосреда связаны, если ископаемые остатки таксона были обнаружены в соответствующих фациях. b — диаграмма Венна иллюстрирует таксономическое перекрытие модулей. Площади кругов соответствуют относительному количеству родов, значения внутри — количеству таксонов, а числа в скобках — пропорциям. c — столбчатая диаграмма, которая показывает количество эдиакарских родов, принадлежащих к различным экологическим палеосообществам, d, e — столбчатые диаграммы показывают количество родов в модулях: типы сохранности продемонстрированы на (d), а морфологические группы отмечены на (e).

(переведено с [72])

1.3. Исчезновение из фанерозойской геологической летописи

Переход от эдиакария к кембрию сигнализирует о резких изменениях как в биоразнообразии, так и в структуре экосистемы. Стратиграфические и палеоэкологические данные указывают на переход преимущественно осмотрфных экосистем к «современным» морским экосистемам с развитием фильтрующего типа питания, хищничества. Отсутствие непрерывных участков на границе эдиакарий–кембрий, содержащих макрофоссилии, затрудняет установление природы экологического перехода. Ученые выделяют как минимум три модели, описывающие данные экосистемные изменения [67]:

- Массовое вымирание большинства эдиакарских форм;
- Эволюционный переход;
- Устранение условий захоронения.

Модель «массового вымирания» указывает на резкие изменения окружающей палеосреды, экологический стресс, в результате которого растут темпы вымирания руководящих групп эдиакарских макроорганизмов. Подобная модель требует доказательств источника экологической катастрофы, такого как нарушение биогеохимических циклов, химического состава океана, импактного воздействия или иного краткосрочного нарушения среды. Среди макроостатков эдиакарской биоты вблизи границы эонов обнаружены только *Cloudina* [40] и представители *Ernieetomorpha* [74], что не позволяет говорить о синхронности вымирания биоты. В пользу модели «массового вымирания» можно интерпретировать отрицательную экскурсию $\delta^{13}\text{C}$ (до -5‰ на юге Сибирской платформы [33, 76]), фиксирующую увеличение легкого изотопа углерода на границе эдиакарий–кембрий.

По другой теории вымирание было постепенным, связанным с исчезновением эдиакарских организмов в результате биотического замещения сложными многоклеточными животными: хищниками, биотурбаторами. Подмодель «хищнической экспансии» предсказывает стабильную эдиакарскую экосистему до появления хищников. Развитие

биоминерализованных подвижных организмов указывает на появление нового режима питания в кембрии, жертвами которого стали эдиакарские мягкотелые организмы [80, 81]. Подобные утверждения требуют доказательств взаимодействия эдиакарских организмов с хищниками. Первое свидетельство хищничества — появление круглых скважин в *Cloudina* в позднем эдиакарии [41].

Эдиакарско–кембрийский переход отмечен изменением структуры мелководных морских отложений: переход от микробиальных матов с резким разделом сред к биотурбированному, в том числе и вертикально, субстрату с размытой границей осадок–вода [67]. Некоторые авторы предполагают, что подобный переход устранил неподвижные осмотрофные ветви эдиакарских организмов посредством косвенной конкуренции за пространство [55, 82].

Модель «эволюционного перехода» подразумевает отсутствие эдиакарских организмов в фанерозойской геологической летописи по причине эволюционирования в кембрийские формы. М. Глесснер относит большинство эдиакарских форм к предкам современных кишечнополостных: полипам, медузоидам, описывает сходство с современным кораллами и морскими перьями [57, 59]. Остатки червеобразных эдиакарских организмов интерпретируют как ранних членистоногих или иглокожих. Таким образом модель «эволюционного перехода» утверждает, что остатки биоты эдиакария несут в себе след зарождения самых ранних животных [59].

Модель «Чеширского кота» связана с закрытием уникального неопротерозойского тафономического окна [67]. Гипотеза предполагает, что сохранение эдиакарских организмов обусловлено взаимодействиями между эдиакарскими организмами и микробными матами [56], которые впоследствии были уничтожены появившимися животными. Модель не предполагает искоренение ветвей эдиакарских организмов, а указывает на исчезновение условий их сохранности в геологической летописи.

На примере находок эдиакарских организмов из верхнего венда юга Сибирской платформы автор планирует указать на несостоятельность модели

резкого вымирания организмов на границе эдиакарий–кембрий и высказать предположение в пользу другой модели.

Глава 2. Сибирская платформа в верхнем протерозое

2.1. Структурно-фациальное районирование

В 1923 г. А. А. Борисьяк первым ввел в геологическую литературу термин «Сибирская платформа» и описал его как кратон, занимающий центральную часть Северной Азии [2]. Согласно палеотектоническим реконструкциям, современные границы кратона проведены по фанерозойским складчатым поясам — Таймырскому на севере и Верхоянскому на востоке, раннепалеозойскому Центрально-Азиатскому складчатому поясу и мезозойскому Монголо-Охотскому складчатому поясу на западе и юге [26]. Другие ученые включают в состав кратона Южно-Таймырский, Верхоянский, Байкало-Патомский и Восточно-Ангарский складчато-надвиговые пояса, которые рассматривают в качестве опущенной окраины [20, 86]. Однако фундамент платформы продолжен под фанерозойскими породами, что делает все оценки границ приблизительными.

Фундамент кратона выступает на поверхность в двух массивах — щитах, на юго-востоке — Алдано-Становом, на севере — в Анабарском. К востоку от Анабарского массива фундамент обнажен в вершине Оленекского свода, по юго-западной периферии кратона — в Канском выступе в южной, заангарской части Енисейского кряжа, на северо-восточном склоне Восточного Саяна в Бирюсинской глыбе, и южнее — в Шарыжалгайском выступе (рис. 8). Кратонизация Сибирской платформы с коллизией слагающих фундамент блоков завершилась во второй половине раннего протерозоя к 1,9–1,8 млрд. л. н., а в раннем рифее началась авлакогенная стадия развития [31].

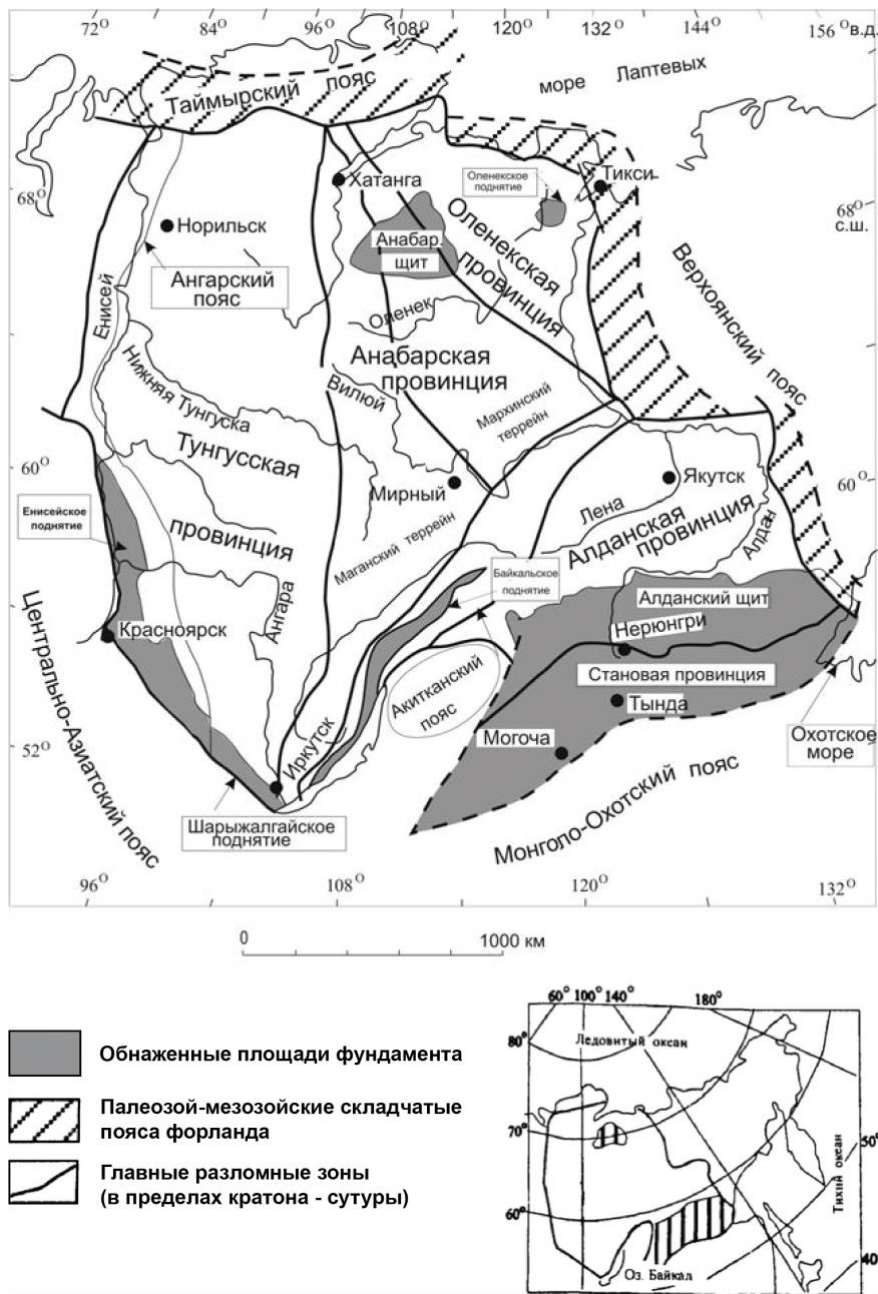


Рисунок 8. Основные элементы структуры фундамента Сибирского кратона. В структуре кратона террейны объединены в более крупные единицы — тектонические провинции (составлено по [26])

Рифейские авлакогены в теле Сибирского кратона представлены сложной сетью по периферийной части платформы. В раннем рифее заложены авлакогены в северной части платформы, по обе стороны Анабарского массива, на юго-востоке, на восточной периферии Алдано-Станового щита, и на юге в вершине Байкало-Патомского входящего угла Центрально-Азиатского подвижного пояса. Заполнялись эти рифтовые трог мелководно-

морскими песчано-глинистыми и карбонатными осадками. В среднем и позднем рифее преобладали мелководно-морские условия с накоплением терригенных или карбонатных осадков с локальным участием продуктов вулканизма [31].

В обнажениях центральной части платформы и на щитах установлено залегание на рифейских отложениях или на кристаллических породах фундамента верхнего венда, перекрытого палеозоем. Таким образом, к стратотипичным местностям с полными разрезами верхнего протерозоя отнесены зоны сочленения Сибирской платформы с Енисейским кряжем, Прибайкальем, с северной частью Патомского нагорья, Юдомо-Майским прогибом, а также Оленекский свод [18].

Сибирскую платформу делят на восемь структурно-фациальных регионов, представленных на рисунке 9. Структурно-фациальное районирование отложений венда Сибирской платформы обусловлено тремя факторами:

- Палеоструктурами вендского возраста;
- Источниками сноса материала;
- Последовательным вступлением внутренних частей платформы в этап осадконакопления.

Вендские структуры, выделенные в периферийных частях платформы, отмечены в окраинах внутренних частей, а значит этап формирования рифейских прогибов длился вплоть до стадии закрытия в позднем венде [19].

Состав вендских отложений на внутренних и внешних частях прогибов различается источниками сноса. На внутренние борта сносился материал с поднятий складчатых поясов, на внешние — с платформенной суши, занимавшей обширную центральную часть бассейна [37].

Обширная суша центральной части Сибирской платформы постепенно сокращалась и ушла под воду в начале позднего венда. Это привело к изменению стратиграфических объемов вендских отложений на территории платформы [18].

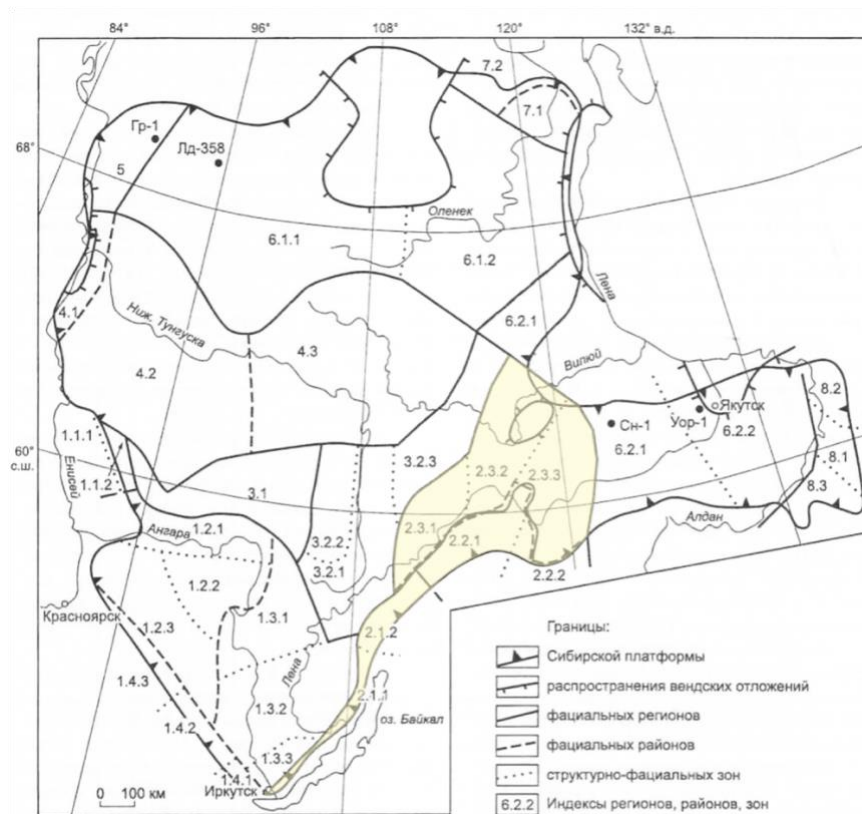


Рисунок 9. Структурно-фациальное районирования Сибирской платформы. Венд..
 Скважины: Гр-1 — Гремякинская-1, Лд-358 — Ледянская 358, Сн-1 — Синская-1, Уор-1 — Уордахская-1. Структурно-фациальные регионы, районы и зоны: 1 — Ангарский регион: 1.1 — район Енисейского кряжа: 1.1.1 — Тейская, 1.1.2 — Тохомская зоны; 1.2 — Присяяно-Енисейский район: 1.2.1 — Нижнеангарская, 1.2.2 — Ковинская, 1.2.3 — Ийско-Удинская зоны; 1.3 — Ангаро-Ленский район: 1.3.1 — Братская, 1.3.2 — Бельско-Жигаловская, 1.3.3 — Иркутская зоны; 1.4 — Присяянский район: 1.4.1 — Мотская, 1.4.2 — Урикско-Ийская, 1.4.3 — Бирюсинская зоны. 2 — Байкало-Патомский регион: 2.1 — Байкальский район: 2.1.1 — Прибайкальская, 2.1.2 — Чая-Миньская зоны; 2.2 — Патомский район: 2.2.1 — Витимо-Чарская, 2.2.2 — Олекмо-Токкинская зоны; 2.3 — Предпатомский район: 2.3.1 — Нюйско-Пеледуйская, 2.3.2 — Виллючанская, 2.3.3 — Березовская зоны. 3 — Катангско-Ботуобинский регион: 3.1 — Катангский район, 3.2 — Непско-Ботуобинский район: 3.2.1 — Приленско-Непская, 3.2.2 — Гаженская, 3.2.3 — Ботуобинская зоны. 4 — Турухано-Сюгджерский регион: 4.1 — Туруханский, 4.2 — Бахтинский, 4.3 — Сюгджерский районы. 5 — Игаро-Норильский регион; 6 — Анабаро-Алданский регион: 6.1 — Анабарский район: 6.1.1 — Котуйская, 6.1.2 — Куонамская зоны; 6.2 — Алданский район: 6.2.1 — Синская, 6.2.2 — Якутская зоны. 7 — Оленекский регион: 7.1 — Хорбусонский район; 7.2 — Лено-Анабарский район. 8 — Учуро-Майский регион: 8.1 — Аллах-Юньская, 8.2 — Суордахская, 8.3 — Аимская зоны

(составлено по [18])

2.2. Вендский бассейн Уринского поднятия

Среди структурно-фациальных зон юга Сибирской платформы Байкало-Патомский регион, дугообразно вытянутый вдоль южной границы, предстает объектом пристального внимания геологов. Наличие биостратиграфических, хемотратиграфических и изотопных геохронологических данных ставит Байкало-Патомский регион в один ряд с мировыми эталонами разрезов верхнего докембрия.

Верхнедокембрийские отложения осадочного чехла Байкало-Патомского прогиба сформированы в обширном палеобассейне, который представлял собой залив Палеосибирского океана [32]. Первоначально рассматриваемые отложения относили к раннему кембрию [30]. Спустя десятилетия, опираясь на данные изучения микрофитоцитов и строматолитов, две верхние свиты патомского комплекса стали причислять к среднему и верхнему рифею [7–9]. Позднее, на основании межрегиональных корреляций [87], изучения органостенных микрофоссилий [85], хемотратиграфии [24], радиоизотопного датирования обломочных цирконов [35, 69] установили вендский возраст отложений патомского комплекса, в разрезе Уринского поднятия представленный дальнетайгской, жуинской и трехверстной сериями, которые надстраиваются отложениями кембрия (рис. 10) [36].

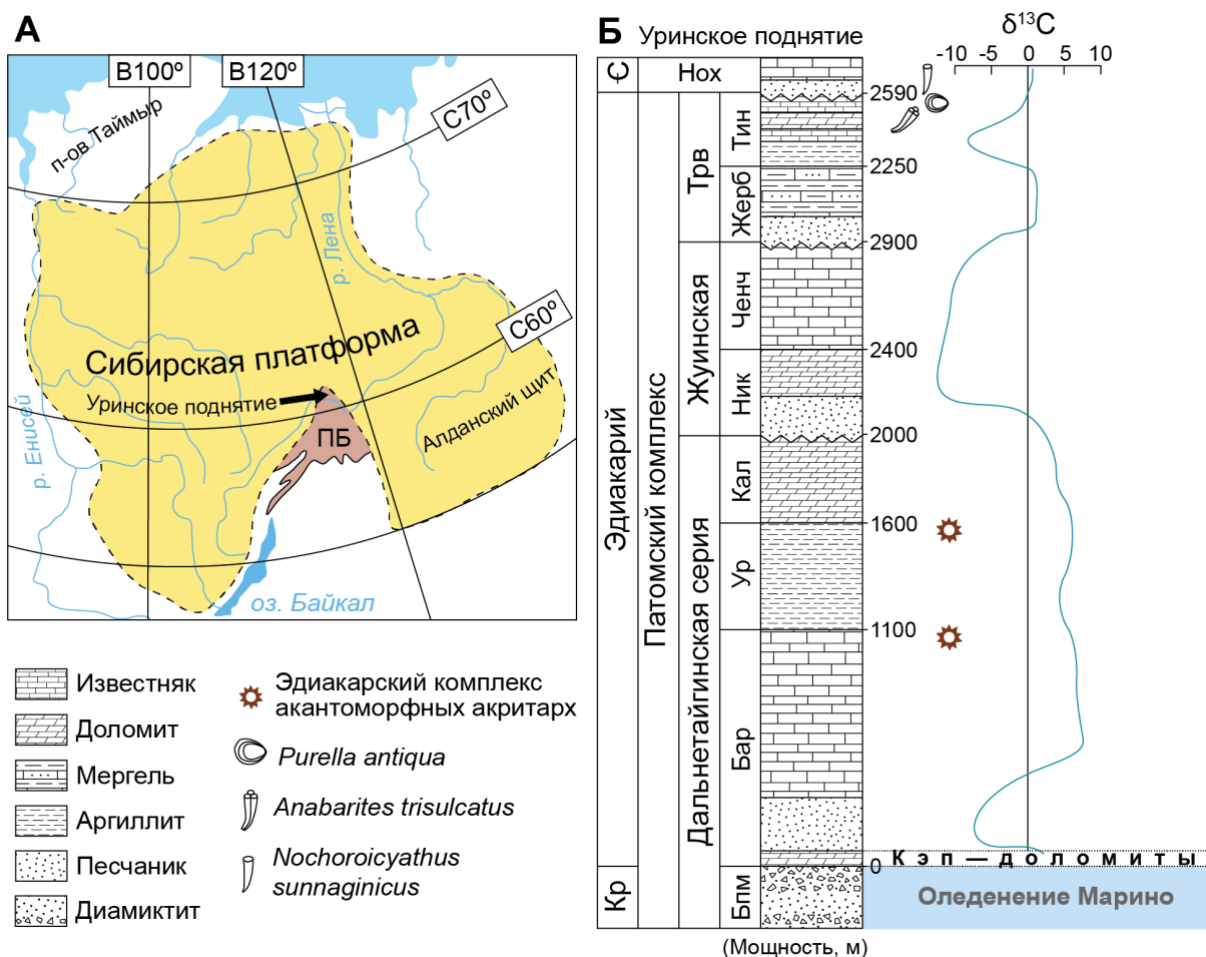


Рисунок 10. Уринское поднятие. А — местоположение Уринского поднятия. Б — разрез патомского комплекса Уринского поднятия: ПБ — патомский бассейн; Трв — трехверстная серия; свиты: Бпм — большепатомская, Бар — баракунская, Ур — уринская, Кал — каланчевская, Ник — никольская, Ченч — ченчинская, Жерб — жербинская, Тин — тинновская, Нох — нохтуйская. (Составлено по [23, 36])

Обстановки нижней и верхней частей цикла осадконакопления дальнетайгинской серии Уринского поднятия представляли сублитораль раннебаракунского терригенно-карбонатного шельфа и Каланчевской карбонатной платформы соответственно. Осадконакопление наиболее мощной средней части проходило при интенсивном прогибании, в обстановке глубоководного гомоклиального карбонатно-глинистого рампа. Опускание рампа в современном юго-восточном направлении определило глубоководную обстановку формирования и большую мощность проградационного клина восточного крыла Уринской антиклинали. Обстановки осадконакопления нижней и верхней частей цикла

реконструируют как сублитораль раннебаракунского терригенно-карбонатного шельфа и Каланчевской карбонатной платформы соответственно. Фациальный анализ и реконструкции тектонических условий Дальнетайгинского бассейна указывают на непрерывный высокий темп седиментации вплоть до конца каланчевского времени, когда в разрезе отмечают признаки палеокарста и площадной эрозии, которые знаменуют преджуинский перерыв [28].

Дальнетайгинская серия состоит из четырех согласно залегающих свит: большепатомской, баракунской, уринской, каланчевской. Мощность большепатомской свиты в стартотипическом разрезе в 4–6 км от устья р. Большой Патом на левом берегу свиты достигает 1100 м. Свита сложена массивными и слоистыми диамиктитами, градационно- и реже косослоистыми песчаниками, а также тонко- и ритмично-слоистыми алевролитами с редкими включениями друпстоунов и тилловых пеллет. Диамиктиты большепатомской свиты в основании разреза Уринского поднятия принято сопоставлять с оледенением Марино [36].

Начало вышележащей баракунской свиты маркирует горизонт «кэп-доломитов» — специфических карбонатных секвенций, перекрывающих ледниковые отложения позднего неопротерозоя [22]. В пределах свиты мы наблюдали чередование пачек известняков и черных сланцев. При этом для известняковых пачек характерны прослой сланцев, а для сланцевых — прослой известняков. Плохая обнаженность баракунской свиты осложняет определение мощности. Оценки колеблются в пределах 1100–1200 м [36]. В 2012 году впервые сообщалось о присутствии вендских проблематичных макроостатков из нижней части баракунской свиты [17]. Однако достоверных данных о находках ископаемых вендских организмов в отложениях патомского комплекса до сих пор не было.

Баракунскую свиту согласно сменяет уринская, сложенная на 90% алевролитистыми аргиллитами с подчиненными прослоями известняков и доломитов [21]. На южной периклинали Жербинской антиклинали вдоль

ручья Улахан-Муостах в основании уринской свиты залегает 300-метровая толща серых алевролитов и аргиллитов, а в верхней части 200-метровая толща брекчий карбонатных пород [12, 13]. Для верхней части уринской свиты характерен комплекс из 36 видов акантоморфной палинофлоры (ЕСАР) (рис. 10) [85].

Каланчевская свита мощностью до 500 м венчает разрез дальнетайгинской серии [13, 14]. Слагают свиту тонкозернистые, пелоидные и ооидные карбонатные илы с прослоями микробиолитов. В нижней части встречены горизонты битуминозных известняков [21]. В отложениях свиты отмечены гигантские карбонатные ооиды с нехарактерной для известных из докембрия и фанерозоя размерностью [91, 94]. Такие параметры связывают с активностью микробиальных колоний [90]. Разделяет дальнетайгинскую и жуинскую серии преджуинский перерыв неопределенной продолжительности [36].

Жуинская серия состоит из двух свит: никольской и ченчинской. Отложения серии представлены серыми часто строматолитовыми известняками, зелеными и лиловыми мергелями и известковистыми алевролитами. В типовом разрезе патомского комплекса для основания никольской свиты характерно присутствие полимиктовых средне- и мелкозернистых песчаников [23]. Вышележащая часть никольской свиты сложена чередованием пестроцветных тонкослоистых алевролитов и мергелей с подчиненными прослоями розоватых и серых известняков, количество которых быстро увеличивается вверх по разрезу свиты, достигая максимума вблизи верхней границы [36].

Вверх по разрезу никольскую свиту постепенно сменяет толща ченчинской свиты, которую слагают известняки и доломиты с подчиненным положением алевролитов и песчаников. Мощность ченчинской свиты достигает 800 — 1200 м [10, 34, 70].

Для жуинской серии характерен сильный отрицательный экскурс $\delta^{13}\text{C}$. Значения в известняках никольской свиты убывают от -6.7‰ в основании до

–13.5‰ в средней части свиты. Глобальная углеродная аномалия, названная «Шурам-Вонока», характерна для разрезов в возрастных рамках 560–580 млн. л. Образование органогенных карбонатов со сверхнизким значением $\delta^{13}\text{C}$ описывают как результат глобального «загрязнения» океана легким изотопом вследствие таяния и окисления метангидратов и органического вещества, которые накапливались в предшествующий период, или в результате аналогичного процесса, реализованного в нескольких субсинхронных эпиконтинентальных осадочных бассейнах с запасами углеводов [22–24].

Верхняя часть разреза венда патомского комплекса представлена трехверстной серией и включает жербинскую и тинновскую свиты, которые сверху перекрывает нохтуйская свита нижнего кембрия [36]. Отложения жербинской и тинновской свит формировались в мелководно-морском бассейне (лагунные и супралиторальные фации) с периодическим осушением территории, но и с выраженным застойным характером локальных депрессий (битуминозные отложения основания тинновской свиты нохтуйского разреза, р. Лена) [15].

Жербинская свита отделена от жуинской серии перерывом, который отмечен на Уринском поднятии следами закарствования пород верхней части ченчинской свиты [33, 76], а за пределами поднятия — срезанием верхней доломитовой пачки ченченской свиты на реках Молво и Большая Джербедеянка [36]. Нижняя толща жербинской свиты сложена серыми косослоистыми кварцитовидными ближе к основанию глауконитовыми песчаниками, которые резко сменяются переслаиванием битуминозных сланцев и песчаников в средней части свиты. В верхней части песчаники выклиниваются, уступая место массивным слоистым черным битуминозным известнякам с переслаиванием красных и зеленых мергелей, аргиллитов. Оценки мощности свиты варьируются от 200 до 500 м [1, 10, 12, 13, 33, 76].

Тинновскую свиту отделяют от жербинской по следам закарствования [76] и эрозионным западинам [33] в основании 10-метрового

пласта грубозернистых косослоистых песчаников и гравелитов. Вышележащая часть преимущественно сложена чередованием пачек глинистых битуминозных известняков и доломитов с карбонатными глинами, зеленоватыми алевролитами, а также монолитными пластами известняков и доломитов [36]. В средней и верхней части тинновской свиты присутствуют остатки фауны нижней и верхней зон немакит-далдынского яруса верхнего венда *Anabarites trisulcatus* и *Purella antiqua* соответственно [16]. На Уринском поднятии мощность свиты оценивают от 220 [33] до 334 м [76].

Глава 3. Находки остатков эдиакарских организмов на Уринском поднятии

3.1. Авалонский кластер остатков ченчинской свиты

Проблематичные, ввиду схожести с осадочными текстурами, находки ископаемых эдиакарских макроскопических организмов авалонского кластера обнаружены в верхней части ченчинской свиты жуинской серии. Верхняя часть ченчинской свиты представлена чередованием пачек мощностью 5 — 12 м, где внутри каждой прослежен трансгрессивно-регрессивный цикл. Глинистые мергели переходят в значительно карбонатные, а затем сменяются опесчаненными и ооидными известняками. Венчают пачку строматолитовые купола. Иногда глинистые мергели замещает маломощный аргиллитовый слой, в котором присутствуют эрозионно-биологические текстуры — отпечатки мест крепления вендских организмов. Такие текстуры принято называть знаками танца («swing marks») — отпечатками в форме борозд и бугорков, которые сформированы вокруг мест крепления, например, фрондоморфных организмов, в результате флуктуаций в турбулентном потоке (рис. 11 а,в,г). Однако не исключено, что представленные «знаки танца» абиогенной седиментационной природы. Асимметричные впадины часто описывают как результат «укола» поверхности ила принесенным обломком («prod casts») [49]. Кроме того, присутствуют проблематики, представленные желобковыми знаками («groove marks»), орнаментированные небольшими продольными гребнями и полосами и изолированные друг относительно друга (рис. 11 б).

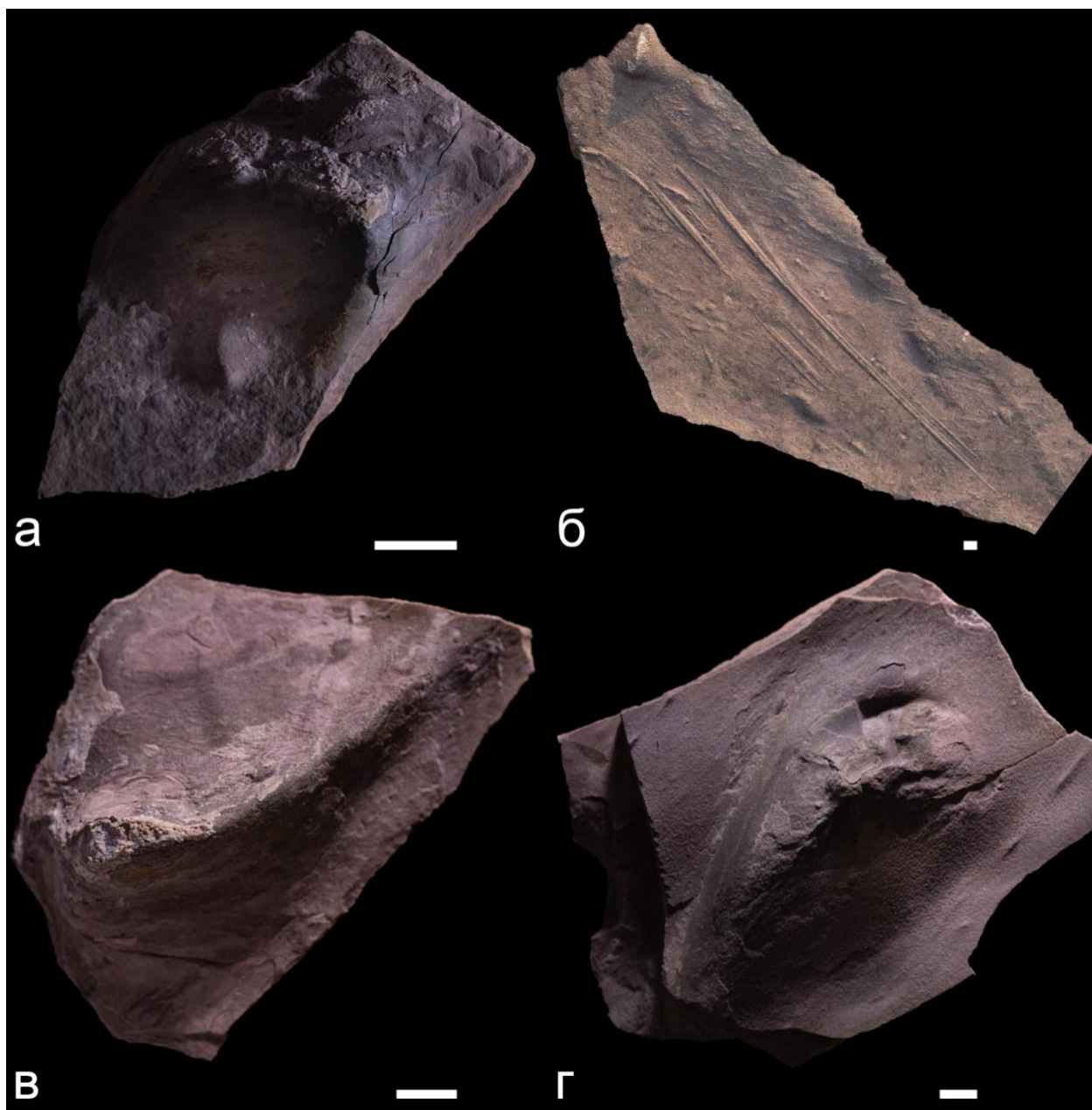


Рисунок 11. Проблематики, характерные для ассоциаций авалонского типа ископаемых эдиакарских организмов. а,в,г — эрозионно-биологические текстуры, предположительно, фрондоморфных организмов; б — желобковые знаки (groove marks) [составлено автором]

3.2. Намский кластер остатков жербинской свиты

При переходе от ченчинской к жербинской свите мы наблюдали смену характера седиментации с карбонатных фаций на толщи песчаных осадков. Разрез нижней части жербинской свиты представлен монотонной толщей косослоистых песчаников с текстурами ряби течения и волнения, при этом в нижней части свиты песчаники отличаются зеленой окраской, обусловленной присутствием в виде вкраплений зерен глауконита. Одинаковые осадочные

текстуры песчаников указывают на быстрое осадконакопление толщи в единых условиях.

Глауконит — аутигенный глинистый алюмосиликат, который крайне подвержен разрушению при переотложении и редко образован в результате замещения других минералов. Принято считать глауконит индикатором морских обстановок внешнего шельфа с медленным осадконакоплением [39, 68, 75]. Однако текстуры песчаников нижней части жербинской свиты на это не указывают. Вероятно, между накоплением песчаниковых толщ произошел длительный перерыв, за который вырос глауконит. Выше по разрезу перерывов не происходило, глинистый алюмосиликат не успевал накопиться. С другой стороны, известны находки аутигенного глауконита из прибрежных сред вблизи органических остатков, которые подрывают устоявшееся представление об исключительно глубоководных обстановках формирования глинистого алюмосиликата [38, 46, 71]. В двадцатиметровой толще глауконитовых песчаников жербинской свиты обнаружены остатки эдиакарских организмов группы *Petalonamae* (рис. 12). Мы предполагаем, что присутствие органического вещества создавало благоприятную для образования глауконита окислительно-восстановительную среду.

Сравнение находок группы *Petalonamae* из нижней части трехверстной серии (жербинская свита) с материалами типовых местонахождений на Белом море (Зимний берег) и в Намибии (группа Нама), а также рецензии палеонтологов (Колесников А. В., Федонкин М. А., Кочнев Б. Б., Журавлев А. Ю., Йенсен С.), подтвердили достоверность найденных остатков организмов. Группа *Petalonamae* — типичный представитель сообществ вендских организмов намского типа. Остатки петалонам находят в песчаниках высокоэнергетических зон прodelьтовых каналов (рис. 2) [93].

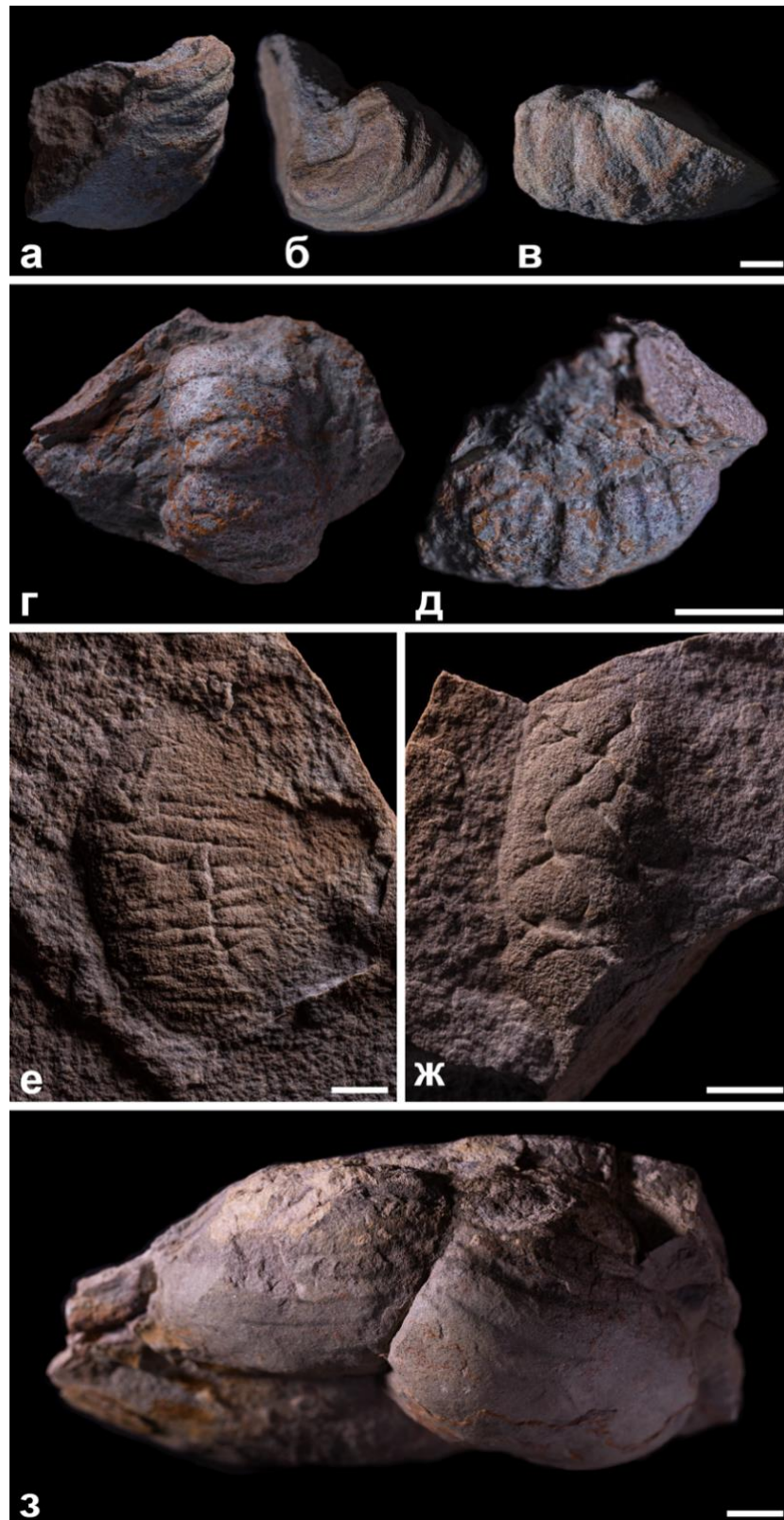


Рисунок 12. Ископаемая ассоциация эдиакарских организмов намского типа группы петалонам из жербинской свиты патомского комплекса. а – в — фрагменты модульного онегиаморфного организма; г – д — матрацевидный слепок модульного однорядного организма; е — остатки птеридиниоморфного организма; ж — остатки вентогироморфного организма; з — объемные слепки утыкающихся друг в друга боковыми стенками эрниеттоморфных организмов [составлено автором]

Для остатков мягкотелых эдиакарских организмов группы *Petalonamae* характерна изогнутая мешковидная, матрацевидная (рис. 12 а-ж) или яйцевидная (рис. 12 з) форма с закономерным делением узкими и глубокими стенками на камеры или отсеки. Вероятно, при жизни рассматриваемые организмы имели углубление в верхней части, которое легко заполнялось песком [64]. На основании захоронения *in situ* в прижизненном положении и отсутствия следов перемещения на поверхности и в осадке сделан вывод о неподвижной и погребенной бентосной природе найденных организмов.

3.3. Восставшие: беломорский кластер остатков нохтуйской свиты

Со следами перерыва на тинновской свите залегает нохтуйская свита нижнего кембрия [36]. Нижняя часть свиты сложена частым чередованием пестроцветных аргиллитов, песчаников, мергелей и вмещает в себя многочисленную мелкораковинную фауну зоны *Nochoroicyathus sunnaginicus*, обломки раковин которых выступают маркером отложений кембрийского возраста [16, 25, 33]. Здесь, в первой зоне нижнего кембрия — томмотском ярусе, сделаны находки эдиакарских кибирелломорфных (рис. 13 а-б), трибрахиоморфных (рис. 14 с-д), пентарадиаломорфных (рис. 14 а) и рангеоморфных (рис. 14 е-ф) организмов.

Для ископаемых эдиакарских организмов со сложной сегментацией сделаны прорисовки под увеличением при помощи двойной экспозиции оптического прибора *Camera lucida* и узконаправленного разноцветного освещения, подчеркивающие особенности строения находок (рис. 14).

Ассоциация найденных макроорганизмов — ортостратиграфическая группа, типичная не только для эдиакарских отложений на Белом море, но и для юга Австралии (*Ediacara Hill*) [53]. Однако находки эдиакарской макробиоты на одних уровнях с кембрийскими мелкораковинными остатками указывают на пробел в понимании палеоэкологии на границе докембрий–кембрий и необходимость уточнения стратиграфической значимости ископаемых макроостатков. Решение проблемы приблизит к пониманию эволюции организмов на ранних этапах развития макроскопической жизни.

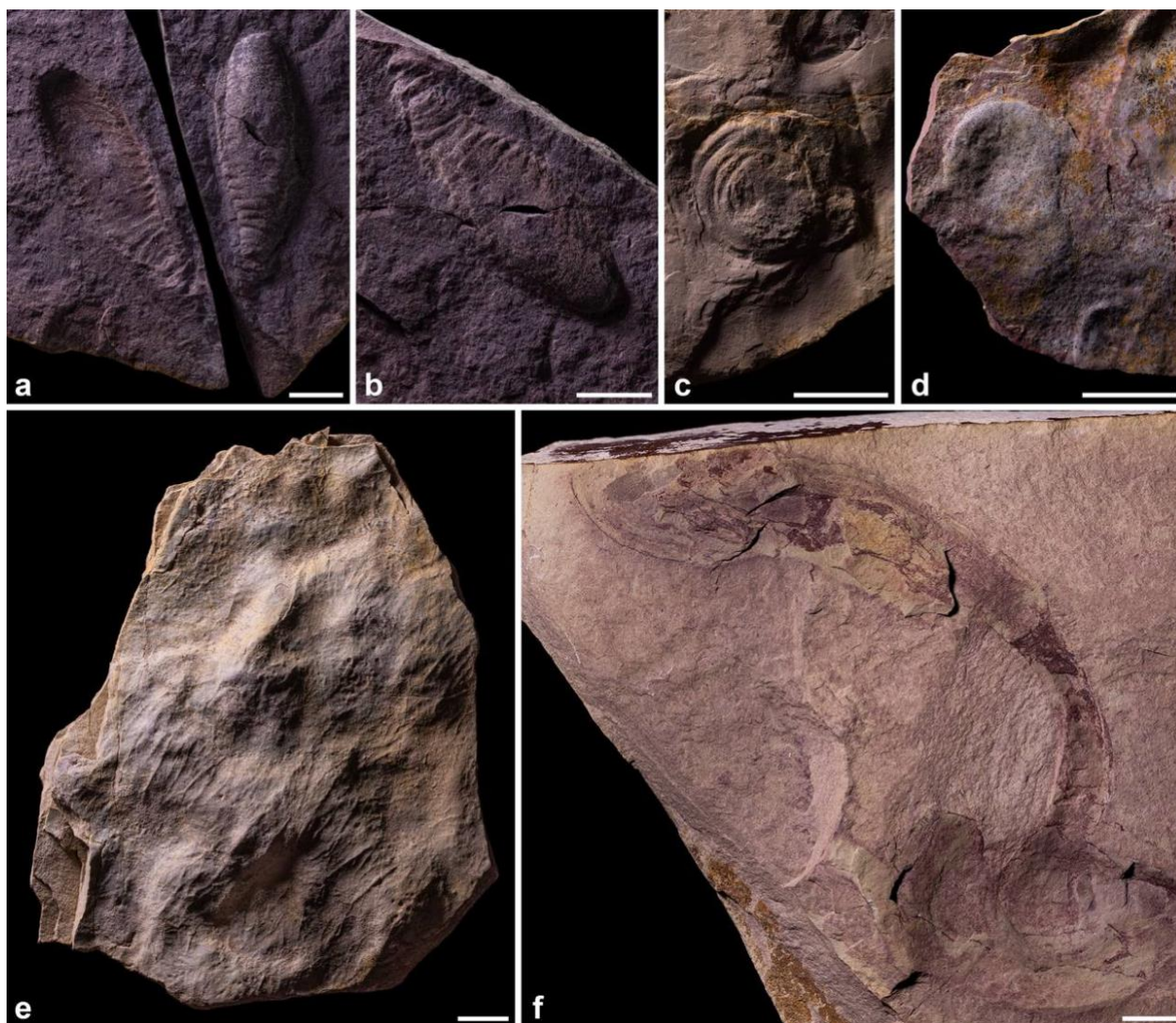


Рисунок 13. Находки эдиакарских организмов их нохтуйской свиты патомского комплекса. а – б — отпечаток киберолломорф, с – d — фрагменты микробических колоний; е — арумбериоморфное эрозионно-биологическое образование; f — отпечаток фрондоморфного организма [составлено автором]

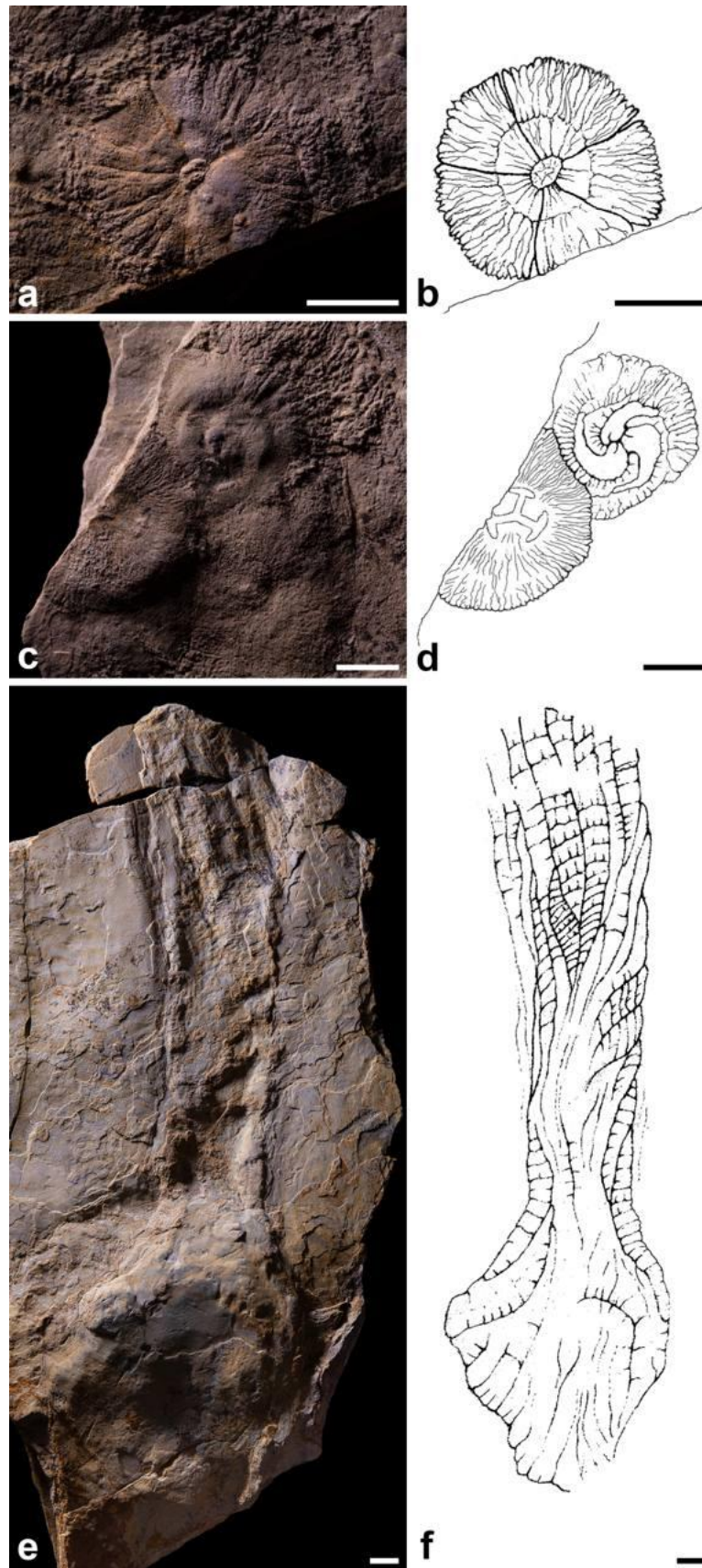


Рисунок 14. Находки эдиакарских организмов из нохтуйской свиты патомского комплекса. а – b — отпечаток и прорисовка пятилучевого ископаемого организма; с – d — отпечатки и прорисовка трибрахиоморфных ископаемых организмов; е – f — отпечаток и прорисовка рангеоморфного организма [составлено автором]

Заключение

В процессе работы изучено общее геологическое строение Сибирской платформы и описан вендский комплекс отложений Уринского поднятия патомского комплекса.

Достижением работы стало обнаружение трех экологических ассоциаций ископаемых эдиакарских организмов, закономерно сменяющих друг друга в пределах одного комплекса.

Присутствие макроостатков в глауконитовых грубозернистых песчаниках жербинской свиты вновь указывает на несостоятельность фациального анализа по глаукониту. Уже известные прибрежные находки глинистого алюмосиликата в строматолитовых известняках мезопротерозоя [71], вблизи остатков животных и фекальных пеллетов в биотурбированном осадке позднего мела [38] дополнены ископаемыми организмами эдиакария. Предполагаем, что образование глауконита на мелководье связано с особой окислительно-восстановительной средой, которую формирует органическое вещество. Возможно, глауконит — новый поисковый признак для эдиакарских макроостатков.

Впервые в зоне мелкораковинных остатков *Nocheroicyathus sunnaginicus*, принятых индикаторами раннего кембрия (Хоментовский и др., 2004), найдены ископаемые эдиакарские макроорганизмы. Обнаруженные макроостатки не только поднимают вопрос стратиграфической значимости эдиакарской биоты, но и указывают на несостоятельность гипотезы массового вымирания эдиакарских организмов до кембрийского взрыва биоразнообразия [66]. Оазис беломорского типа макроорганизмов эдиакария в раннем кембрии — еще одним аргумент в пользу гипотезы «Чеширского кота». Вероятно, тафономическое окно обусловлено уникальными условиями патомского комплекса, которые позволили эдиакарской биоте сохраниться в геологической летописи. Аргумент в пользу модели эволюционного перехода эдиакарской биоты в фанерозойские формы — находка в раннем кембрии

ископаемого кимберелломорфного организма, интерпретированная как моллюск [53].

Беломорский кластер организмов сопоставляли с отрицательной аномалией $\delta^{13}\text{C}$ [48], однако, находки выше аномалии свидетельствуют об отсутствии строгой корреляции между изотопной кривой и массой эдиакарской биоты. Это предположение подтверждают последнее датирование аномалии Шурам-Вонока [78].

Следствием работы выступает расширение палеогеографии ископаемых эдиакарских организмов, с которым связаны новые перспективы в изучении палеоэкологии и тафономии макроскопических эдиакарских организмов.

С геохронологическими, хемотратиграфическими, микро- и макропалеонтологическими данными разрез патомского комплекса становится на один уровень с самыми представительными разрезами венда и эдиакария.

Автор благодарит ведущих научных сотрудников Геологического института РАН Колесникова Антона Владимировича и Рудько Сергея Владимировича за консультации и научное руководство в проведении исследования. Исследования проведены при финансовой поддержке РФФ (грант № 20-77-10066) и РФФИ (грант № 19-05-00155).

Список использованных источников

Литература:

1. Бобров А. К. Стратиграфия и палеогеография отложений верхнего докембрия Южной Якутии / А. К. Бобров, Якутск: Наука, 1979. 127 с.
2. Борисяк А. А. Геологический очерк Сибири / А. А. Борисяк, Петроград: Издание М. и С. Сабашниковых, 1923. 150 с.
3. Гражданкин Д. В. Строение и условия осадконакопления вендского комплекса в Юго-Восточном Беломорье // Стратиграфия. Геологическая Корреляция. 2003. № 4 (11). С. 3–23
4. Гражданкин Д. В. [и др.]. Осадочные системы сыльвицкой серии (верхний венд Среднего Урала) / Д. В. Гражданкин, А. В. Маслов, М. Т. Крупенин, Ю. Л. Ронкин, Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 280 с.
5. Гражданкин Д. В., Маслов А. В. Место венда в международной хроностратиграфической шкале // Геология и геофизика. 2015. № 4 (56). С. 703–717.
6. Гражданкин Д. В., Наговицин К. Е., Маслов А. В. Миаохенская Экологическая Ассоциация Позднего Венда Восточно-Европейской Платформы // Доклады Академии Наук. 2007. № 1 (417). С. 73–78.
7. Дольник Т. А. Строматолиты опорных разрезов докембрия окраины Саяно-Байкальской горной области: Справочное руководство / Т. А. Дольник, Иркутск: ВостСибНИИГиМС, 1982. 183 с.
8. Дольник Т. А. Строматолиты и микрофитолиты в стратиграфии рифея и венда складчатого обрамления юга Сибирской платформы / Т. А. Дольник, Новосибирск: СО РАН, филиал «Гео», 2000. 320 с.
9. Журавлева З. А., Комар В. А., Чумаков Н. М. Строение и корреляция верхнедокембрийских отложений западной Якутии Якутск: ЯГУ, 1961. С. 9–11.
10. Замараев С. М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. — 1:200000. Серия Бодайбинская – Лист Р–50–XXXIII (Нюя). Объяснительная записка. М.: Министерство геологии СССР, 1984.

11. Келлер Б. М., Соколов Б. С. Вендский комплекс – первое подразделение палеозойской группы Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1962. С. 34–36.
12. Кокоулин М. Л. Государственная геологическая карта Российской Федерации — 1:200000. Серия Бодайбинская. Лист Р–50–XXXIV (Чапаево). Объяснительная записка. М.: Министерство природных ресурсов РФ, 1998.
13. Колосов П. Н. Стратиграфия верхнего докембрия юга Якутии / П. Н. Колосов, Новосибирск: Наука, 1975. 156 с.
14. Колосов П. Н. Фациально-генетические типы органогенных карбонатных пород и потенциальные коллекторы нефти и газа в Каланчевской свите неопротерозоя Предпатомской нефтегазоносной области // Отечественная Геология. 2010. № 6. С. 49–56.
15. Котова Л. Н., Подковыров В. Н. Литогеохимия Отложений Венда Патомского Комплекса Юга Средней Сибири Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. С. 142–144.
16. Кочнев Б. Б., Карлова Г. А. Новые данные по биостратиграфии немакит-далдынского яруса венда юга Сибирской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. № 5 (18). С. 28–41.
17. Леонов М. В., Рудько С. В. Находка вендских фоссилий в отложениях дальнетайгинской серии Патомского нагорья // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2012. № 5 (20). С. 96–99.
18. Мельников Н. В. [и др.]. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири: в 9 томах / Н. В. Мельников, М. С. Яшкин, Б. Б. Шишкин, А. О. Ефимов, Новосибирск: Гео, 2005. 428 с.
19. Мельников Н. В., Шемин Г. Г., Ефимов А. О. Палеогеография Сибирской платформы в венде: научное издание / Н. В. Мельников, Г. Г. Шемин, А. О. Ефимов, Новосибирск: 1989. С. 3–10.
20. Парфенов Л. М., Ханчук А. И., Прокопьев А. В. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. № 6 (22). С. 7–41.

21. Петров П. Ю. Постледниковые отложения дальнотайгинской серии: ранний венд Уринского поднятия Сибири. Сообщение 2. Уринская и каланчевская свиты и история бассейна // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 6. С. 521–538.

22. Покровский Б. Г. [и др.]. Геохимические особенности неопротерозойских «венчающих доломитов» патомского палеобассейна и проблема их генезиса // Литология и полезные ископаемые. 2010. № 6. С. 644–641.

23. Покровский Б. Г., Буякайте М. И. геохимия изотопов С, О и Sr в неопротерозойских карбонатах юго-западной части патомского палеобассейна, юг Средней Сибири // Литология и полезные ископаемые. 2015. № 2. С. 159–186.

24. Покровский Б. Г., Мележик В. А., Буякайте М. И. Изотопный состав С, О, Sr и S в позднедокембрийских отложениях патомского комплекса, Центральная Сибирь. Сообщение 1. Результаты, изотопная стратиграфия и проблемы датирования // Литология И Полезные Ископаемые. 2006. № 5. С. 505–530.

25. Розанов А. Ю. [и др.]. К проблеме ярусного расчленения нижнего кембрия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2008. № 1 (16). С. 3–21.

26. Розен О. М. Сибирский кратон: тектоническое районирование, этапы эволюции // Геотектоника. 2003. № 3. С. 3–21.

27. Ронкин Ю. Л. [и др.]. U-Pb (SHRIMP-II)-возраст цирконов из пепловых туфов чернокаменской свиты сыльвицкой серии венда (Средний Урал) // Доклады Академии Наук. 2006. № 3 (411). С. 354–359.

28. Рудько С. В. [и др.]. Уточнённый Тренд $\Delta^{13}\text{C}$ В Дальнотайгинской Серии Уринского Поднятия (венд, Юг Средней Сибири) // Доклады Академии Наук. 2017. № 5 (477). С. 590–594.

29. Соколов Б. С. Вендская система: предкембрийская // Палеонтология. Стратиграфия. Международный геологический конгресс. XXVI сессия. Доклады советских геологов. М., 1980. С. 9–21.

30. Старостина З. М. Геологическое строение северной окраины Патомского нагорья и прилегающей части Ленского пенеplена 1935. № 3 (13). С. 305.
31. Хаин В. Е. Тектоника континентов и океанов / В. Е. Хаин, Москва: Научный мир, 2000. 606 с.
32. Хераскова Т. Н. [и др.]. Распад Родинии и ранние стадии развития Палеоазиатского океана // Геотектоника. 2010. № 1. С. 5–28.
33. Хоментовский В. В. [и др.]. Венд Байкало-Патомского нагорья (Сибирь) // Геология и геофизика. 2004. № 4 (45). С. 465–484.
34. Чумаков Н. М. Стратиграфия и тектоника юго-западной части Вилуойской впадины Москва: АН СССР, 1959. С. 345–460.
35. Чумаков Н. М. [и др.]. Вендский возраст верхней части патомского комплекса Средней Сибири: U-Pb LA-ICPMS датировки обломочных цирконов никольской и жербинской свит // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. № 2 (19). С. 115–119.
36. Чумаков Н. М., Семихатов М. А., Сергеев В. Н. Опорный разрез вендских отложений юга Средней Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2013. № 4 (21). С. 26–51.
37. Шенфиль В. Ю. Поздний докембрий Сибирской платформы / В. Ю. Шенфиль, Новосибирск: Наука, 1991. 185 с.
38. Albani A. E., Meunier A., Fürsich F. Unusual occurrence of glauconite in a shallow lagoonal environment (Lower Cretaceous, northern Aquitaine Basin, SW France) // Terra Nova. 2005. № 6 (17). С. 537–544.
39. Alveirinho Dias J. M., Nittrouer C. A. Continental shelf sediments of northern Portugal // Continental Shelf Research. 1984. № 2 (3). С. 147–165.
40. Amthor J. E. [и др.]. Extinction of Cloudina and Namacalathus at the Precambrian-Cambrian boundary in Oman // Geology. 2003. № 5 (31). С. 431–434.
41. Bengtson S., Zhao Y. Predatorial borings in late precambrian mineralized exoskeletons // Science (New York, N.Y.). 1992. № 5068 (257). С. 367–369.

42. Billings E. Fossils in Huronian rocks // *Canadian Naturalist and Quarterly Journal of Science*. 1872. (6). С. 478.
43. Boag T. H., Darroch S. A. F., Laflamme M. Ediacaran distributions in space and time: testing assemblage concepts of earliest macroscopic body fossils // *Paleobiology*. 2016. № 4 (42). С. 574–594.
44. Bobrovskiy I. [и др.]. Molecular fossils from organically preserved Ediacara biota reveal cyanobacterial origin for *Beltanelliformis* // *Nature Ecology & Evolution*. 2018. № 3 (2). С. 437–440.
45. Bobrovskiy I. [и др.]. Ancient steroids establish the Ediacaran fossil *Dickinsonia* as one of the earliest animals // *Science*. 2018. № 6408 (361). С. 1246–1249.
46. Chafetz H. S., Reid A. Syndepositional shallow-water precipitation of glauconitic minerals // *Sedimentary Geology*. 2000. № 1 (136). С. 29–42.
47. Cowie J. W., Cribb S. J. The Cambrian System 1978. (116). С. 355–362.
48. Darroch S. A. F. [и др.]. Ediacaran Extinction and Cambrian Explosion // *Trends in Ecology & Evolution*. 2018. № 9 (33). С. 653–663.
49. Dżułyński S., Ślaczka A. Directional structures and sedimentation of the Krosno beds (Carpathian flysch) // *Annales Societatis Geologorum Poloniae*. 1958. № 3 (28). С. 205–260.
50. Erwin D. H. [и др.]. The Cambrian Conundrum: Early Divergence and Later Ecological Success in the Early History of Animals // *Science*. 2011. № 6059 (334). С. 1091–1097.
51. Fedonkin M. A. Vendian Faunas and the Early Evolution of Metazoa *Topics in Geobiology* / под ред. J. H. Lipps, P. W. Signor, Boston, MA: Springer US, 1992. С. 87–129.
52. Fedonkin M. A., Simonetta A., Ivantsov A. Y. New data on *Kimberella*, the Vendian mollusc-like organism (White Sea region, Russia): palaeoecological and evolutionary implications // *Geological Society, London, Special Publications*. 2007. № 1 (286). С. 157–179.

53. Fedonkin M. A., Waggoner B. M. The Late Precambrian fossil *Kimberella* is a mollusc-like bilaterian organism // *Nature*. 1997. № 6645 (388). С. 868–871.
54. Ford T. D. Pre-Cambrian Fossils from Charnwood Forest // *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*. 1958. № 3 (31). С. 211–217.
55. Gehling J. G. Microbial mats in terminal Proterozoic siliciclastics; Ediacaran death masks // *PALAIOS*. 1999. № 1 (14). С. 40–57.
56. Gehling J. G. [и др.]. *Ediacara organisms: relating form to function* под ред. D. E. G. Briggs, London: Peabody Museum of Natural History, Yale University Press, 2005. С. 43–66.
57. Glaessner M. F. The oldest fossil faunas of South Australia // *Geologische Rundschau*. 1959. № 2 (47). С. 522–531.
58. Glaessner M. F. The Late Precambrian fossils from Ediacara, South Australia // *Palaeontology*. 1966. № 4 (9). С. 599–628.
59. Glaessner M. F. *The Dawn of Animal Life: A Biohistorical Study* / M. F. Glaessner, Cambridge: Cambridge University Press, 1985. 260 с.
60. Grazhdankin D. Patterns of Evolution of the Ediacaran Soft-Bodied Biota // *Journal of Paleontology*. 2014. № 2 (88). С. 269–283.
61. Gürich G. Die Kuibis-Fossilien der Nama-Formation von Südwestafrika // *Palaeontologische Zeitschrift*. 1933. № 2 (15). С. 137–154.
62. Harland W., Herod K. N. *Glaciations through time 6* / Liverpool: Seel House Press, 1975. С. 189–216.
63. Hill E., Bonney T. G. The Precarboniferous Rocks of Charnwood Forest. — Part I. // *Quarterly Journal of the Geological Society*. 1877. № 1–4 (33). С. 754–789.
64. Ivantsov A., Grazhdankin D. A New Representative of *Petalonamae* from Upper Vendian of Arkhangelsk Region // *Paleontological Journal*. 1997. № 1 (31). С. 3–18.
65. Knoll A. H. [и др.]. A New Period for the Geologic Time Scale // *Science*. 2004. № 5684 (305). С. 621–622.

66. Knoll A. H., Carroll S. B. Early Animal Evolution: Emerging Views from Comparative Biology and Geology // *Science*. 1999. № 5423 (284). С. 2129–2137.
67. Laflamme M. [и др.]. The end of the Ediacara biota: Extinction, biotic replacement, or Cheshire Cat? // *Gondwana Research*. 2013. № 2 (23). С. 558–573.
68. Logvinenko N. V. Origin of glauconite in the recent bottom sediments of the ocean // *Sedimentary Geology*. 1982. № 1 (31). С. 43–48.
69. Meffre S. [и др.]. Age and pyrite Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log sediment-hosted gold deposit, Russia // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2008. № 9 (72). С. 2377–2391.
70. Melezhik V. A. [и др.]. Constraints on $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of Late Ediacaran seawater: insight from Siberian high-Sr limestones // *Journal of the Geological Society*. 2009. № 1 (166). С. 183–191.
71. Mingxiang M. [и др.]. Glauconites Formed in the High-energy Shallow-Marine Environment of the Late Mesoproterozoic: Case Study from Tieling Formation at Jixian Section in Tianjin, North China // *Earth Science Frontiers*. 2008. № 4 (15). С. 146–158.
72. Muscente A. D. [и др.]. Ediacaran biozones identified with network analysis provide evidence for pulsed extinctions of early complex life // *Nature Communications*. 2019. № 1 (10). С. 1–15.
73. Narbonne G. M. [и др.]. *The Ediacaran Period* Oxford: Elsevier, 2012. С. 413–435.
74. Narbonne G. M., Saylor B. Z., Grotzinger J. P. The Youngest Ediacaran Fossils from Southern Africa // *Journal of Paleontology*. 1997. № 6 (71). С. 953–967.
75. Odin G. S., Matter A. De glauconiarum origine // *Sedimentology*. 1981. № 5 (28). С. 611–641.
76. Pelechaty S. M. Integrated chronostratigraphy of the Vendian System of Siberia: implications for a global stratigraphy // *Journal of the Geological Society*. 1998. № 6 (155). С. 957–973.

77. Pflug H.-D. Systematik der jung-präkambrischen Petalonamae Pflug 1970 // Paläontologische Zeitschrift. 1972. № 1 (46). С. 56–67.
78. Rooney A. D. [и др.]. Calibrating the coevolution of Ediacaran life and environment // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. № 29 (117). С. 16824–16830.
79. Seilacher A. Late Precambrian and Early Cambrian Metazoa: Preservational or Real Extinctions? Dahlem Workshop Reports Physical, Chemical, and Earth Sciences Research Reports / под ред. H. D. Holland, A. F. Trendall, Berlin, Heidelberg: Springer, 1984. С. 159–168.
80. Seilacher A. Vendozoa: Organismic construction in the Proterozoic biosphere // Lethaia. 1989. № 3 (22). С. 229–239.
81. Seilacher A. Vendobionta and Psammocorallia: lost constructions of Precambrian evolution // Journal of the Geological Society. 1992. № 4 (149). С. 607–613.
82. Seilacher A. From biomats to benthic agriculture: a biohistoric revolution Oldenburg: Bibliotheksund Informationsystem der Carl von Ossietzky Universität, 1994. С. 97–105.
83. Sepkoski J. J. A Kinetic Model of Phanerozoic Taxonomic Diversity I. Analysis of Marine Orders // Paleobiology. 1978. № 3 (4). С. 223–251.
84. Sepkoski J. J. A Kinetic Model of Phanerozoic Taxonomic Diversity II. Early Phanerozoic Families and Multiple Equilibria // Paleobiology. 1979. № 3 (5). С. 222–251.
85. Sergeev V. N., Knoll A. H., Vorob'eva N. G. Ediacaran Microfossils from the Ura Formation, Baikal-Patom Uplift, Siberia: Taxonomy and Biostratigraphic Significance // Journal of Paleontology. 2011. № 5 (85). С. 987–1011.
86. Smelov A. P., Timofeev V. F. The age of the North Asian Cratonic basement: An overview // Gondwana Research. 2007. № 3 (12). С. 279–288.
87. Sovetov J. K. Vendian foreland basin of the Siberian cratonic margin: Paleopangean accretionary phases // Russian Journal of Earth Sciences. 2002. № 5 (4). С. 363–387.

88. Sprigg R. C. Early Cambrian (?) Jellyfishes from the Flinders Ranges, South Australia // Early Cambrian (?) Jellyfishes from the Flinders Ranges, South Australia. 1947. № 2 (71). C. 212–224.
89. Summons R. E., Erwin D. H. Chemical clues to the earliest animal fossils // Science. 2018. № 6408 (361). C. 1198–1199.
90. Tang D. [и др.]. Organomineralization in Mesoproterozoic giant ooids // Journal of Asian Earth Sciences. 2015. (107). C. 195–211.
91. Trower E. J., Grotzinger J. P. Sedimentology, diagenesis, and stratigraphic occurrence of giant ooids in the Ediacaran Rainstorm Member, Johnnie Formation, Death Valley region, California // Precambrian Research. 2010. № 1 (180). C. 113–124.
92. Wade M. Dickinsonia: polychaete worms from the late Precambrian Ediacara fauna, South Australia 1972. № 2 (16). C. 171–190.
93. Waggoner B. The Ediacaran Biotas in Space and Time // Integrative and Comparative Biology. 2003. № 1 (43). C. 104–113.
94. Woods A. D. Microbial ooids and cortoids from the Lower Triassic (Spathian) Virgin Limestone, Nevada, USA: Evidence for an Early Triassic microbial bloom in shallow depositional environments // Global and Planetary Change. 2013. (105). C. 91–101.
95. Xiao S. [и др.]. Macroscopic carbonaceous compressions in a Terminal Proterozoic shale: a systematic reassessment of the Miaohu biota, South China // Journal of Paleontology. 2002. № 2 (76). C. 347–376.
96. Xiao S., Laflamme M. On the eve of animal radiation: phylogeny, ecology and evolution of the Ediacara biota // Trends in Ecology & Evolution. 2009. № 1 (24). C. 31–40.