

УДК 56:551.82

ПАЛЕОБИОГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСОВ ПОЗДНЕВЕНДСКИХ МАКРОФОССИЛИЙ

© 2019 г. М. А. Закревская

Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва

e-mail: mariazakrevskaya@gmail.com

Поступила в редакцию 04.12.2017 г.

Получена после доработки 23.05.2018 г.

Принята к публикации 25.10.2018 г.

Проведен анализ степени сходства таксономического состава 13 основных местонахождений вендских макрофоссилий мира по коэффициенту Охаи. Среди мелководно-морских местонахождений выделены две четкие подгруппы. К первой относятся местонахождения Австралии, Юго-Восточного Беломорья, Подолии, Индии и Урала (степень сходства 0.16–0.38). Вторая подгруппа включает местонахождения Сибири, Северо-Западной Канады, Южного Китая, Южной Америки, Южной Намибии и США (степень сходства до 0.58). Такое разделение мелководных местонахождений соответствует развитию карбонатных отложений и распространению рода трубчатых проблематик *Cloudina*. Можно предположить, что это различие связано с приуроченностью местонахождений второй подгруппы к тепловодным климатическим обстановкам (осаждение карбонатов, распространение проблематик с карбонатным скелетом), а местонахождений первой подгруппы к холодноводным обстановкам. Таким образом, выполненный анализ указывает на расположение кратонов Австралии, Балтики и Индии в высоких широтах, что отличается от результатов, демонстрируемых на некоторых палеотектонических реконструкциях, базирующихся на палеомагнитных исследованиях, и подтверждает гипотезу о расположении Сибирской платформы в тропических и субтропических широтах. На основании проведенного анализа для позднего венда выделено две палеобиогеографические области: Приполярная (Австралия, Балтика, Индия) и Экваториальная (Сибирь, Лаврентия, Калахари, Южный Китай, Рио-де-ла-Плата).

Ключевые слова: докембрий, венд, эдиакарская биота, палеогеография, палеобиогеография.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-592X275113-122>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует множество статей, посвященных палеогеографии венда на основании палеомагнитных данных (например, *Condie, 2003; Meert, Torsvik, 2004; Meert, Lieberman, 2008; Li et al., 2008; Torsvik et al., 2008*). По доминирующей гипотезе суперконтинент Родиния (*McMenamin, McMenamin, 1990*), образовавшийся около 1200–900 млн лет назад, к поздневендскому времени уже распался (*Li et al., 2008; Nance et al., 2013*). Но споры о том, когда это произошло и какие континенты образовались после распада Родинии, продолжаются. В соответствии с наиболее распространенной гипотезой, рифтовые процессы происходили в несколько этапов, главный из которых, имевший место 750 млн лет назад (*Powell et al., 1993*), разделил Родинию на две группы континентов: Австралию, Восточную Антарктиду, Индию и континенты Конго, а затем и Калахари, с од-

ной стороны, и Лаврентию, Балтику, Амазонию, Восточную Африку и континент Рио-де-ла-Плата, с другой (*Torsvik, 2003; Li et al., 2008*). Последовавшее затем удаление фрагментов континентов первой группы от Лаврентии привело в начале кембрия к их столкновению и образованию крупного континента Гондвана (*Hoffman, 1991; Li et al., 2008; Torsvik et al., 2008; Kuznetsov et al., 2010*). Одна из гипотез также предполагает существование на рубеже венда и кембрия другого суперконтинента – Паннотии, образовавшейся после распада Родинии в результате сближения на короткое время континентов Лаврентии и Гондваны (*Stump, 1992; Powell, 1995; Nance et al., 2013*).

Определение расположения отдельных континентов в венде с помощью только палеомагнитных данных остается проблематичным. Существует множество порой полностью противоположных вариантов расположения конти-

нентов. Например, по одной из реконструкций (Hoduch et al., 2004) Лаврентия в позднем венде располагалась практически на экваторе, а по другой — ближе к полюсу (Meert, Lieberman, 2008). Эти разногласия связаны со сложным характером палеомагнитной записи в поздневендских породах, обусловленным широким распространением разновозрастных вторичных компонент намагниченности, часто полностью уничтоживших древний сигнал, а также с некоторыми особенностями записи первичных компонент, связанными со спецификой геомагнитного поля позднейшего докембрия (Shatsillo et al., 2005; Шацилло, 2006; Шацилло и др., 2015; Abrajevitch, Van der Voo, 2010).

Сейчас для уточнения палеогеографических схем начинают применяться другие методы. В данном исследовании была произведена попытка использовать для этой цели методику сравнительного анализа комплексов вендских макроорганизмов по регионам мира. Эта методика имеет некоторые ограничения в применении, связанные, во-первых, с малым количеством таксонов в ряде местонахождений и, во-вторых, с неоднозначностью определений некоторых форм. В частности, специалисты еще не пришли к единому мнению относительно определения множества разновидностей циклических отпечатков, которые либо относят к одному роду *Aspidella* (Gehling et al., 2000), либо считают совершенно несвязанными между собой формами, имеющими разную природу (Grazhdankin, Gerdes, 2007).

На протяжении последних 50 лет были открыты уникальные местонахождения вендских ископаемых на разных континентах (Fedonkin et al., 2007). Наиболее богатыми считаются местонахождения Юго-Восточного Беломорья (Россия), Южной Австралии, Южной Намибии, п-ва Ньюфаундленд, Подолии (Украина) и Англии. Но и менее богатые местонахождения, обнаруженные в Сибири, Южном Китае, Северо-Западной Канаде, Индии, Северной Каролине (США) и в Южной Америке (Бразилия и Аргентина), также являются источником важной информации. Каждое местонахождение характеризуется специфическим комплексом макроостатков, сравнительный анализ которых может дать нам информацию о палеобиогеографических связях этих областей в вендское время. М. Мак-Менамин (McMenamin, 1982) разделил эти местонахождения на две четкие группы: местонахождения Прото-Гондваны (Балтика и Гондвана), для которой было характерно наличие типичной вендской фауны, и местонахождения Прото-Лавразии (Сибирь, Китай и Северо-Американский кратон), где представлены комплексы раковинных остатков SSF (McMenamin, 1982). По мнению М. Мак-

Менамина, в местонахождениях Прото-Лавразии типичная вендская фауна не встречается. Однако к настоящему времени остатки вендской биоты были найдены и здесь: *Beltanelliformis*, *Niemalora*, *Charnia*, *Aspidella*, *Palaeopascichnus* в Сибири (Serezhnikova, 2007; Наговицин и др., 2008; Grazhdankin et al., 2008; Леонов, Рудько, 2012; Иванцов, 2017), *Beltanelliformis*, *Eoandromeda*, *Paracharnia*, *Palaeopascichnus* в Китае (Sun, 1986; Dong et al., 2008; Tang et al., 2008, 2011; Wang et al., 2011), *Beltanelliformis*, *Pteridinium*, *Aspidella* в Северной Америке (Gibson et al., 1984; Narbonne, Hofmann, 1987). Поэтому выводы Мак-Менамина о провинциализме и четкой приуроченности вендской биоты к континентам Прото-Гондваны, где, по его мнению, располагался центр происхождения этой биоты, можно считать устаревшими.

Статистический анализ комплексов вендских ископаемых ранее уже проводился Б. Ваггонером, применившим методы минимизирующего анализа эндемизма и фенетической кластеризации (Waggoner, 1999). В результате этой работы наиболее сходными оказались фаунистические комплексы местонахождений п-ва Ньюфаундленд и Англии, в то время как комплекс Южной Австралии наиболее близко соотносился с комплексами Юго-Восточного Беломорья, Северо-Западной Канады и Подолии. Анализ небольшого комплекса вендских ископаемых Северной Каролины (США) дал повод для предположения о сходстве этого комплекса с комплексом Южной Намибии. На основании этого было сделано предположение о близких структурных и палеогеографических связях западной окраины Лаврентии и фрагментов восточной Гондваны и запуске рифтового процесса, обусловившего их отделение на данном участке в начале раннего венда или незадолго до этого момента. Эти выводы не согласуются с доминирующей гипотезой об активизации рифтовых процессов и распаде Родинии задолго до наступления вендского периода (Torsvik, 2003; Li et al., 2008). Однако исследования Ваггонера опирались на спорные находки из местонахождения Северной Каролины, представленные неясными фрагментами. Очевидный недостаток этих исследований — некритическое использование выявленных таксонов, многие из которых являются синонимами и требуют ревизии. Новые опубликованные данные об открытии комплекса ископаемых в Неваде (США), близкого по составу к намибийскому (*Ernietta*, *Gaojianshania*, *Conotubus*), могут в дальнейшем подтвердить эту гипотезу (Smith et al., 2017). К настоящему времени, в связи с открытием ряда новых местонахождений и существенным пополнением коллекций, появилась необходимость в проведении

повторного сравнительного анализа комплексов вендских макрофоссилий.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСОВ ВЕНДСКИХ МАКРООРГАНИЗМОВ ПО РЕГИОНАМ МИРА

При выполнении исследования сравнивалось сходство таксономического состава ископаемых комплексов местонахождений на родовом уровне (Закревская, 2013, 2016), подсчитанное в программе PAST (Hammer et al., 2001). В настоящее время для определения сходства комплексов используются в основном четыре коэффициента (Жаккара, Серенсена, Кульчинского и Охай). При пробных подсчетах было выяснено, что эти коэффициенты имеют довольно близкие значения у большинства комплексов. Поэтому в качестве меры сходства был выбран коэффициент Охай (в работе Янина (2009) он упоминается как коэффициент Сандо), как наиболее распространенный ($K = c/\sqrt{ab}$, где c – количество общих родов для двух местонахождений, a – количество родов одного местонахождения, b – количество родов другого местонахождения). При определении таксономического сходства комплексов в биологических работах также часто используется индекс Брея–Кертиса, однако его применение дает наилучшие результаты, когда известна относительная численность таксонов, что на данный момент невозможно подсчитать для вендских местонахождений. В настоящей работе учитывались данные по 13 местонахождениям с использованием до-

стоверно установленных таксонов (табл. 1, 2). Для местонахождений выделялось три степени сходства: низкая ($K < 0.4$), средняя ($K = 0.4–0.6$) и высокая ($K > 0.6$). Было замечено, что целый ряд родов (*Charnia*, *Charniodiscus*, *Aspidella*, *Niemalora*, *Palaeopascichnus*, *Beltanelliformis*) встречается в большинстве местонахождений, несмотря на различие в условиях их формирования. Обычно вендские захоронения в зависимости от палеообстановок разделяются на три группы: глубоководные (Англия, Ньюфаундленд), мелководные (Австралия, Юго-Восточное Беломорье, Подолия) и супермелководные, формировавшиеся в условиях дельтовых конусов выноса (Намибия) (Grazhdankin, 2004). Вышеперечисленные роды являются космополитными и эврибионтными; их распространение, по всей видимости, не зависело ни от палеообстановок, ни от палеогеографических условий. Таким образом, эти формы являются фоновыми, они не дают никакой информации для палеогеографической детализации, и их можно не учитывать при анализе сходства.

Статистический анализ подтвердил резкое обособление глубоководных и мелководных местонахождений друг от друга. В программе PAST (Hammer et al., 2001) был также проведен кластерный анализ методом невзвешенного парного среднего (UPGMA), в качестве меры сходства использован индекс Охай (рис. 1).

В результате высокая степень сходства была обнаружена лишь между двумя местонахождениями, традиционно интерпретируемыми как глубоководные (Англия и Ньюфаундленд – 0.62).

Таблица 1. Значения индексов сходства Охай для комплексов вендских ископаемых из основных мировых местонахождений

	Австралия	Белое море	Юж. Намибия	Подолия	Англия	Сибирь	Китай	Индия	Ньюфаундленд	СЗ Канада	США	Юж. Америка	Урал
Австралия	1	0.38	0.14	0.26	0	0.09	0.31	0.2	0	0.12	0.14	0	0.2
Белое море	0.38	1	0.21	0.35	0	0.14	0.24	0.23	0.06	0.09	0.11	0.08	0.16
Юж. Намибия	0.14	0.21	1	0	0	0.3	0.38	0	0	0.19	0.38	0.33	0
Подолия	0.26	0.35	0	1	0	0.14	0.12	0.32	0.26	0.18	0	0.16	0.16
Англия	0	0	0	0	1	0	0	0	0.62	0	0	0	0
Сибирь	0.09	0.14	0.3	0.14	0	1	0.51	0	0	0.26	0	0.45	0
Китай	0.31	0.24	0.38	0.12	0	0.51	1	0	0	0.22	0.27	0.19	0
Индия	0.2	0.23	0	0.32	0	0	0	1	0	0.29	0	0.25	0
Ньюфаундленд	0	0.06	0	0.26	0.62	0	0	0	1	0	0	0	0
СЗ Канада	0.12	0.09	0.2	0.18	0	0.26	0.22	0.29	0	1	0	0.58	0
США	0.14	0.11	0.38	0	0	0	0.27	0	0	0	1	0.35	0
Юж. Америка	0	0.08	0.33	0.16	0	0.45	0.19	0.25	0	0.58	0.35	1	0
Урал	0.2	0.16	0	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Таблица 2. Наличие (1) и отсутствие (0) таксонов в основных местонахождениях вендских ископаемых

	Kimberella	Dickinsonia	Tribrachidium	Parvancorina	Palaeophragmodictya	Yorgia	Conomedusites	Archaeaspinus	Eoandromeda	Eoropita	Ovatoscutum	Pteridium	Rangia	Skinnera	Vavilixia	Arkarua	Spriggina	Marywadea	Inaria	Rugocornites	Praecambridium	Funisia	Hallidaya	Swartpuntia	Cloudina	Vendoconularia	Ausia	Ernietta	Namacalathus	Namapoikia	Andiva	Anfesta	Bonata	Sekwia
Австралия	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Белое море	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1
Юж. Намибия	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Подолія	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Англия	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сибирь	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Китай	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Индия	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Ньюфаундленд	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СЗ Канада	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
США	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Юж. Америка	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Урал	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

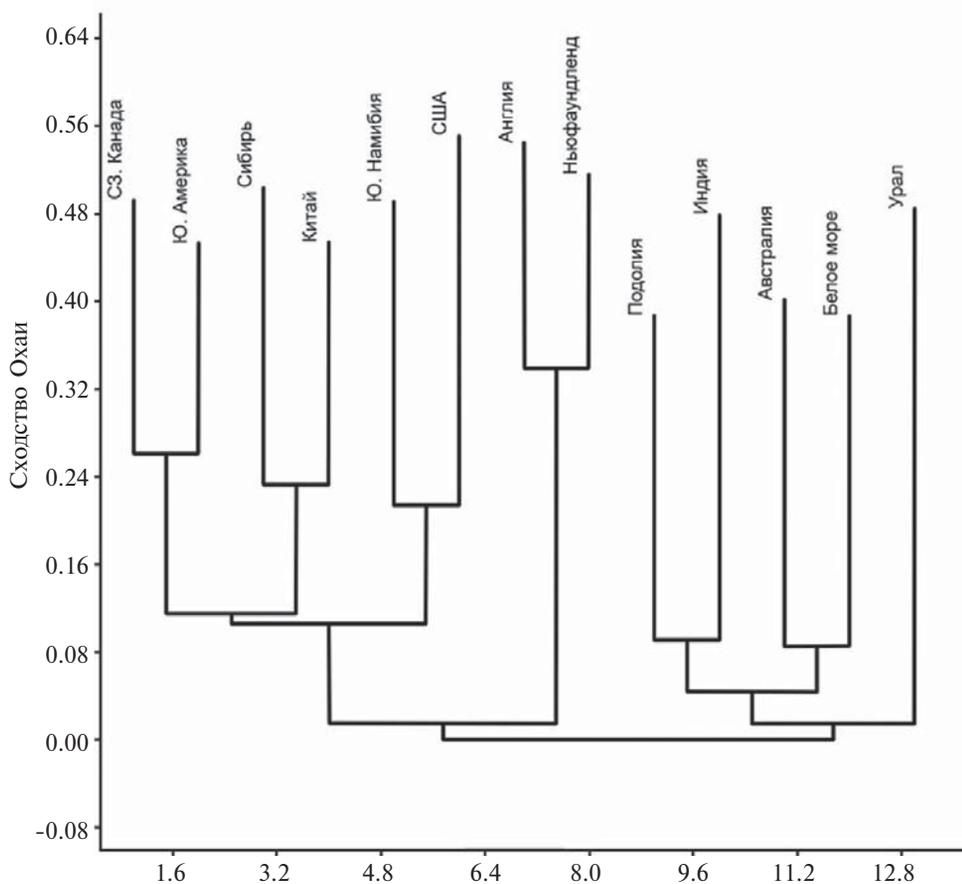


Рис. 1. Дендрограмма сходства комплексов вендских местонахождений.

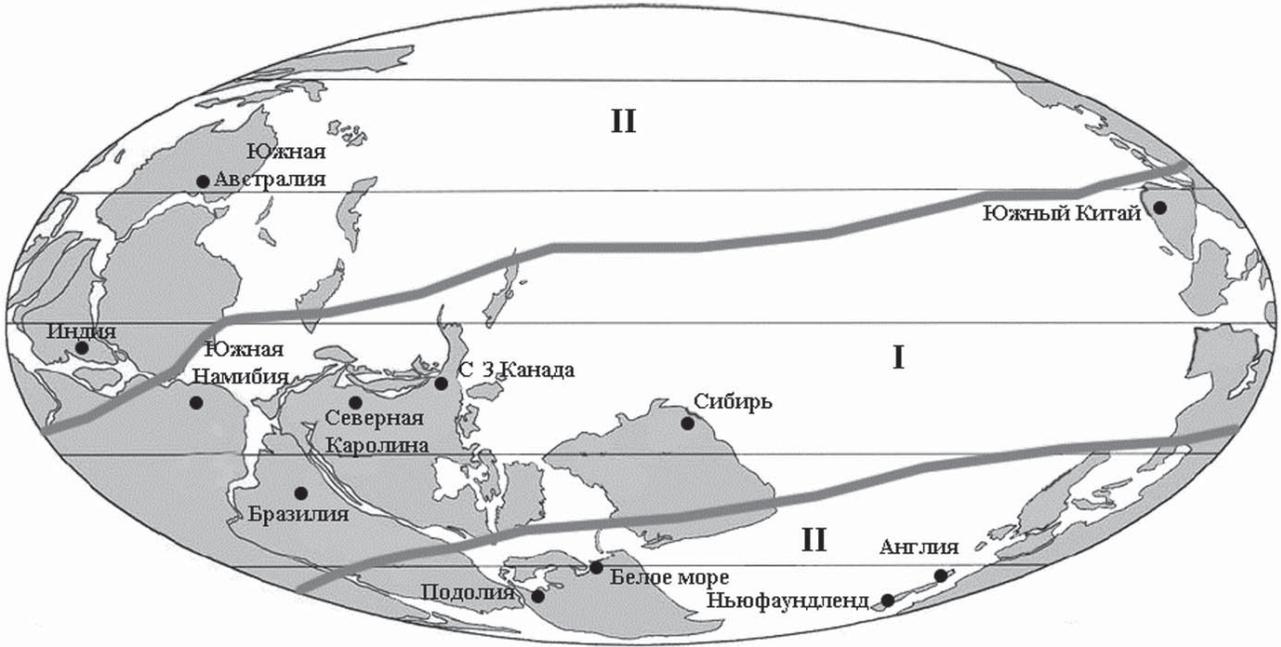


Рис. 2. Предполагаемая палеобиогеографическая схема для позднего венда (по Smith, 2001; Zhuravlev et al., 2012). I – Экваториальная область, II – Приполярная область.

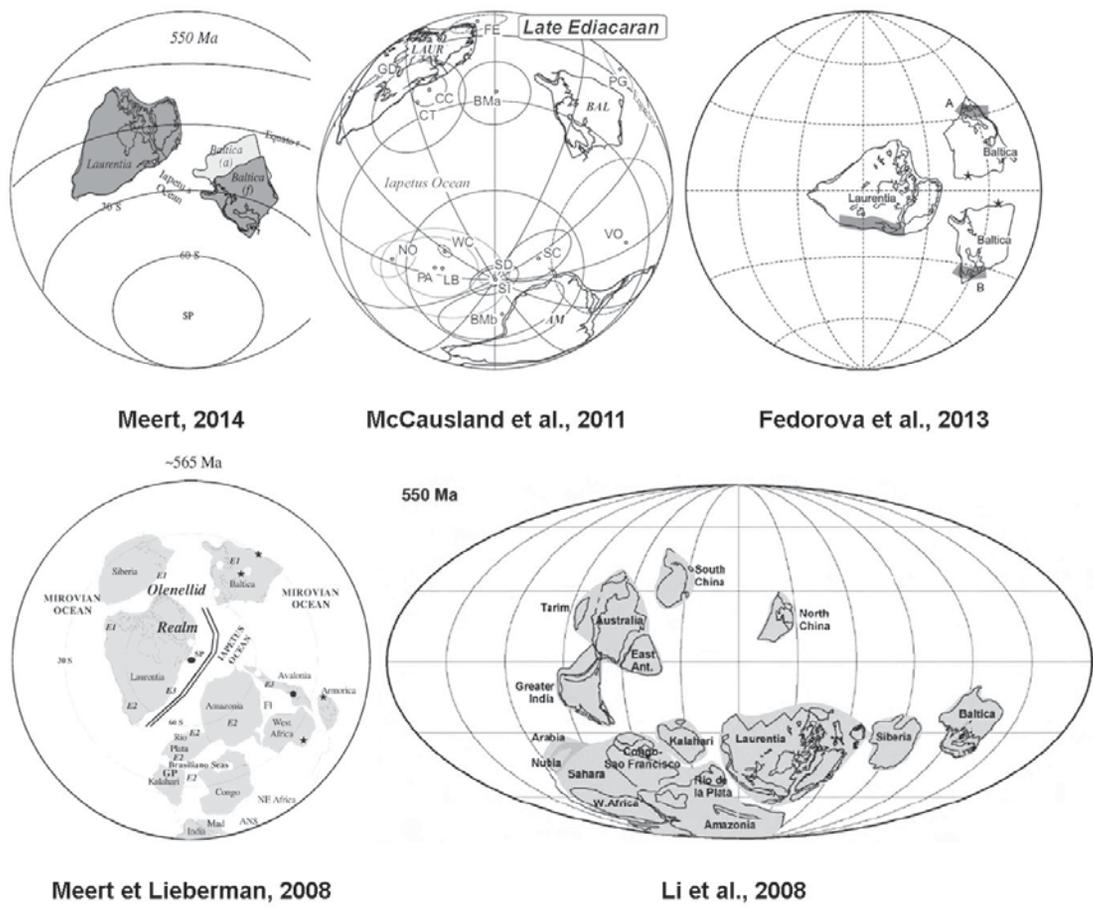


Рис. 3. Альтернативные варианты расположения континента Балтика в поздневендское время (от 565 до 550 млн лет назад), собранные по литературным данным (наиболее распространенная широта для Беломорской окраины Балтики 30° с.ш.).

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЮГО-ВОСТОЧНОГО БЕЛОМОРЬЯ В ПОЗДНЕМ ВЕНДЕ

Юго-Восточное Беломорье с его богатейшими местонахождениями вендских ископаемых располагается в северной части Восточно-Европейской платформы, которая в вендское время относилась к континенту Балтика. Существует множество работ, посвященных установлению палеогеографического положения Балтики на рубеже венда и кембрия — ключевого интервала в эволюции органического мира (Llanos et al., 2005; Elming et al., 2007; Fedorova et al., 2013, 2014, 2016; Levashova et al., 2013, 2015; Meert, 2014 и другие). Однако попытки определения положения Балтики с помощью палеомагнитных и геохронологических данных очень часто дают противоречивые результаты даже для одновозрастных пород, взятых из территориально близких точек (Meert, 2014). Поэтому широтное положение континента Балтика в поздневендское время определяется различно (рис. 3): от южного полюса до экватора (McCausland et al., 2007, 2011; Meert et al., 2007; Pisarevsky et al., 2008; Abrajevitch, Van der Voo, 2010; Fedorova et al., 2013; Meert, 2014 и другие). В соответствии с доминирующей в настоящее время гипотезой, Балтика в позднем венде располагалась в низких или средних широтах Южного полушария (Fedorova et al., 2013, 2014; Levashova et al., 2013; Meert, 2014), хотя существует и альтернативная гипотеза о ее расположении в Северном полушарии (Llanos et al., 2005). Беломорская окраина Балтики была обращена к югу и соответствовала широте примерно 30° ю.ш. (McCausland et al., 2007; Fedorova et al., 2013; Levashova et al., 2013; Meert, 2014). По данным других авторов (например, Smith, 2001; Elming et al., 2007; Meert, Lieberman, 2008), Балтика в позднем венде могла располагаться в относительно более высоких широтах.

Согласно выполненному исследованию, основанному на палеонтологических данных, Балтика, скорее всего, располагалась в высоких широтах. Эти результаты наиболее близко соотносятся с палеогеографической схемой в работе (Meert, Lieberman, 2008) (рис. 3).

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ В ПОЗДНЕМ ВЕНДЕ

Наиболее представительные местонахождения вендских организмов на территории Сибирской платформы располагаются на ее северо-востоке и юго-востоке. Самое богатое из них находится на северо-востоке на Оленекском поднятии (бассейн р. Хорбусуонка). Ископаемые здесь

встречаются в высокоуглеродистых известняках хатыспытской свиты (Соколов, Ивановский, 1985б). Комплекс вендских ископаемых свиты представлен такими родами, как *Beltanelliformis*, *Niernalora*, *Charnia*, *Palaeopascichnus*, *Cloudina*, *Eooropita* и другими (Соколов, Ивановский, 1985а; Grazhdankin et al., 2008). Второе местонахождение, менее богатое ископаемыми, но перспективное для дальнейшего изучения, расположено на юго-востоке Сибирской платформы в Учуро-Майском районе. Здесь вендские ископаемые встречаются в известняках и карбонатных песчаниках усть-юдомской свиты. Комплекс вендских ископаемых в этом местонахождении представлен родами *Beltanelliformis*, *Aspidella*, *Palaeopascichnus* и *Cloudina* (Zhuravlev et al., 2009; Ivantsov et al., 2014; Иванцов, 2017). *Cloudina* и *Namacalathus* также были найдены к западу от р. Енисей, в районе, который, по-видимому, принадлежал к Сибирской платформе (Kontorovich et al., 2008), а остатки *Beltanelliformis* — в Уринском районе, расположенном в южной части Сибирской платформы (Леонов, Рудько, 2012).

Результаты проведенного сравнительного анализа позволяют предположить, что Сибирь в поздневендское время располагалась в тепловодных обстановках, близких к экваториальным. Это согласуется с основанной на палеомагнитных данных реконструкцией, согласно которой в позднем венде Сибирская платформа находилась в тропических и субтропических широтах Южного полушария и была обращена к северу своей южной (в современных координатах) окраиной (Shatsillo et al., 2005; Шацилло, 2006). Наиболее близкую степень сходства (0.51), судя по анализу комплекса вендских макрофоссилий, Сибирь имеет с Южным Китаем (табл. 1, рис. 1), что указывает на относительную близость этих континентов в поздневендское время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты анализа сходства таксономического состава основных местонахождений поздневендских макрофоссилий по коэффициенту Охаи указывают на резкое различие местонахождений глубоководных и мелководных сообществ. Высокая степень сходства обнаруживается лишь между двумя местонахождениями, традиционно интерпретируемыми как глубоководные (в Англии и Ньюфаундленде). Среди мелководноморских местонахождений выделяются две четкие подгруппы. К первой подгруппе относятся местонахождения пяти регионов: Австралии, Юго-Восточного Беломорья, Подолии, Индии и Урала. При этом наибольшая степень сходства в этой подгруппе наблюдается между ме-

стонахождениями Юго-Восточного Беломорья и Австралии. Во вторую подгруппу входят местонахождения Сибири, Северо-Западной Канады, Южного Китая, Южной Америки, Южной Намибии и США. Такое разделение мелководных местонахождений соответствует развитию карбонатных отложений и распространению рода трубчатых проблематик *Cloudina*. Это различие может быть связано с приуроченностью местонахождений второй подгруппы к тепловодным климатическим обстановкам, для которых характерно осаждение карбонатов и распространение проблематик с карбонатным скелетом, а местонахождений первой подгруппы к холодноводным обстановкам. Проведенный анализ указывает на расположение континентов Австралия, Балтика и Индия в высоких широтах, что отличается от результатов, демонстрируемых на некоторых палеогеографических схемах, и подтверждает выводы о расположении Сибирской платформы в низких, тропических и субтропических, широтах. На основании полученных результатов для позднего венда могут быть выделены две палеобиогеографические области: Приполярная (Австралия, Балтика, Индия) и Экваториальная (Сибирь, Лаврентия, Калахари, Южный Китай, Рио-де-ла-Плата).

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам ПИН РАН академику РАН М.А. Федонкину и А.Ю. Иванцову за ценные рекомендации и обсуждения, а также сотруднику ИФЗ РАН А.В. Шацилло за предоставленную консультацию по палеомагнитным исследованиям позднего венда.

Источники финансирования. Исследования проводились при поддержке гранта РФФИ № 17-05-02212-а. Теоретические исследования частично поддержаны субсидией на выполнения фундаментальных исследований по теме госзадания ПИН РАН “Появление жизни, становление биосферы и развитие древних биот”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Закревская М.А.* Применение данных о латеральном распространении эдиакарской биоты для палеобиогеографии позднего венда // Систематика организмов. Ее значение для биостратиграфии и палеобиогеографии. Материалы LIX Сессии Палеонтол. общества. СПб., 2013. С. 44–46.
- Закревская М.А.* Палеоэкологический анализ поздненвендских сообществ бентосных макроорганизмов Юго-Восточного Беломорья. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2016. 26 с.
- Иванцов А.Ю.* О находках типичных эдиакарских ископаемых в юдомской серии венда Восточной Сибири // Докл. АН. 2017. Т. 472. № 5. С. 542–545.
- Леонов М.В., Рудько С.В.* Находка вендских фоссилий в отложениях дальнетайгинской серии Патомского нагорья // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012. Т. 20. № 5. С. 96–99.
- Наговицин К.Е., Гражданкин Д.В., Кочнев Б.Б.* Ediacaria в сибирском гипостратотипе рифея // Докл. АН. 2008. Т. 419. № 6. С. 794–798.
- Соколов Б.С., Ивановский А.Б.* (ред.) Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 1. Палеонтология. М.: Наука, 1985а. 221 с.
- Соколов Б.С., Ивановский А.Б.* (ред.) Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы. М.: Наука, 1985б. 238 с.
- Шацилло А.В.* Палеомагнетизм венда юга Сибирской платформы и некоторые аспекты позднедокембрийской геодинамики. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2006. 32 с.
- Шацилло А.В., Кузнецов Н.Б., Павлов В.Э. и др.* Первые магнито-стратиграфические данные о стратотипе верхнепротерозойской лопатинской свиты (северо-восток Енисейского кряжа): проблемы ее возраста и палеогеографии Сибирской платформы на рубеже протерозоя и фанерозоя // Докл. АН. 2015. Т. 465. № 4. С. 464–468.
- Янин Б.Т.* Палеобиогеография. Учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Издат. центр “Академия”, 2009. 256 с.
- Abrajevitich A., Van der Voo R.* Incompatible Ediacaran paleomagnetic directions suggest an equatorial geomagnetic dipole hypothesis // Earth Planet. Sci. Lett. 2010. V. 293. P. 164–170.
- Condie K.C.* Supercontinents, superplumes and continental growth: the Neoproterozoic record // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2003. V. 206. P. 1–21.
- Conway Morris S., Mattes B.W., Chen M.* The early skeletal organism *Cloudina*: new occurrences from Oman and possibly China // Am. J. Sci. 1990. V. 290-A. P. 245–260.
- Dong L., Xiao S., Shen B., Zhou C.* Silicified *Horodyskia* and *Palaeopascichnus* from upper Ediacaran cherts in South China: tentative phylogenetic interpretation and implications for evolutionary stasis // J. Geol. Soc. London. 2008. V. 165. P. 367–78.
- Elming S.A., Kravchenko S.N., Layer P. et al.* Palaeomagnetism and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age determinations of the Ediacaran traps from the southwestern margin of the East European Craton, Ukraine: relevance to the Rodinia breakup // J. Geol. Soc. London. 2007. V. 164. № 5. P. 969–982.
- Fedonkin M.A., Gehling J.G., Grey K. et al.* The rise of animals: evolution and diversification of the Kingdom Animalia. Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press, 2007.
- Fedorova N.M., Levashova N.M., Bazhenov M.L. et al.* The East European Platform in the Late Ediacaran: new paleomagnetic and geochronological data // Rus. Geol. Geophys. 2013. V. 54. P. 1392–1401.
- Fedorova N.M., Levashova N.M., Meert J.G. et al.* New paleomagnetic data on Baltica based on Upper Ediacaran deposits on the western slope of the Middle Urals // Dokl. Earth Sci. 2014. V. 456. № 1. P. 512–516.

- Fedorova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Kuznetsov N.B.* Ediacaran–Cambrian paleogeography of Baltica: a paleomagnetic view from a diamond pit on the White Sea east coast // *Lithosphere*. 2016. V. 8. P. 564–573.
- Gehling J.G., Narbonne G.M., Anderson M.M.* The first named Ediacaran body fossil, *Aspidella terranovica* // *Palaentology*. 2000. V. 43. P. 427–456.
- Germs G.J.B.* New shelly fossils from Nama Group, South West Africa // *Am. J. Sci.* 1972. V. 272. № 8. P. 752–761.
- Gibson G.G., Teeter S.A., Fedonkin M.A.* Ediacaran fossils from the Carolina slate belt, Stanly County, North Carolina // *Geology*. 1984. V. 12. P. 387–390.
- Grant S.W.F.* Shell structure and distribution of *Cloudina*, a potential index fossil for the terminal Proterozoic // *Am. J. Sci.* 1990. № 290A. P. 261–294.
- Grazhdankin D.V.* Patterns of distribution in the Ediacaran biotas: facies versus biogeography and evolution // *Paleobiology*. 2004. V. 30. P. 203–221.
- Grazhdankin D., Gerdes G.* Ediacaran microbial colonies // *Lethaia*. 2007. V. 40. P. 201–210.
- Grazhdankin D.V., Balthasar U., Nagovitsin K.E., Kochnev B.B.* Carbonate-hosted Avalon-type fossils in Arctic Siberia // *Geology*. 2008. V. 36. № 10. P. 803–806.
- Hammer Q., Harper D.A.T., Ryan P.D.* PAST: Paleontological Statistics Software package for education and data analysis // *Palaentol. Electron.* 2001. V. 4. № 1. P. 1–9.
- Hodych J.P., Cox R.A., Kosler J.* An equatorial Laurentia at 550 Ma confirmed by Grenvillian inherited zircons dated by LAM-ICP-MS in the Skinner Cove volcanics of western Newfoundland: implications for inertial interchange true polar wander // *Precambrian Res.* 2004. V. 129. P. 93–113.
- Hoffman P.F.* Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out? // *Science*. 1991. V. 252. P. 1409–1412.
- Hofmann H.J., Mountjoy E.W.* *Namacalathus–Cloudina* assemblage in Neoproterozoic Miette Group (Byng Formation), British Columbia: Canada's oldest shelly fossils // *Geology*. 2001. V. 29. P. 1091–1094.
- Ivantsov A.Yu., Gritsenko V.P., Konstantinenko L.I., Zakrevskaya M.A.* Revision of the problematic Vendian macrofossils *Beltanelliformis* (= *Beltanelloides*, *Nemiana*) // *Paleontol. J.* 2014. V. 48. № 13. P. 1–26.
- Kontorovich A.E., Varlamov A.I., Grazhdankin D.V. et al.* A section of Vendian in the east of West Siberian Plate (based on data from the Borehole Vostok 3) // *Rus. Geol. Geophys.* 2008. V. 49. № 12. P. 932–939.
- Kuznetsov N.B., Natapov L.M., Belousova E.A. et al.* Geochronological, geochemical and isotopic study of detrital zircon suites from late Neoproterozoic clastic strata along the NE margin of the East European Craton: implications for plate tectonic models // *Gondwana Res.* 2010. V. 17. № 2–3. P. 583–601.
- Kuznetsov N.B., Meert J.G., Romanyuk T.V.* Ages of detrital zircons (U/Pb, LA-ICP-MS) from the Latest Neoproterozoic–Middle Cambrian (?) Asha Group and Early Devonian Takaty Formation, the Southwestern Urals: a test of an Australia–Baltica connection within Rodinia // *Precambrian Res.* 2014. V. 244. P. 288–305.
- Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G. et al.* Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals // *Precambrian Res.* 2013. V. 236. P. 16–30.
- Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G. et al.* Paleomagnetism of Upper Ediacaran clastics from the South Urals: implications to paleogeography of Baltica and the opening of the Iapetus ocean // *Gondwana Res.* 2015. V. 28. P. 191–208.
- Li Z.X., Bogdanova S.V., Collins A.S. et al.* Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis // *Precambrian Res.* 2008. V. 160. P. 179–210.
- Llanos M.P.I., Tait J.A., Popov V., Abalmassova A.* Paleomagnetic data from Ediacaran (Vendian) sediments of the Arkhangelsk region, NW Russia: an alternative apparent polar wander path of Baltica for the Late Proterozoic–Early Palaeozoic // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2005. V. 240. P. 732–747.
- McCausland P.J.A., Van der Voo R., Hall C.M.* Circum-Iapetus paleogeography of the Precambrian–Cambrian transition with a new paleomagnetic constraint from Laurentia // *Precambrian Res.* 2007. V. 156. P. 125–152.
- McCausland P.J.A., Hankard F., Van der Voo R., Hall C.M.* Ediacaran paleogeography of Laurentia: paleomagnetism and ^{40}Ar – ^{39}Ar geochronology of the 583 Ma Baie des Moutons syenite, Quebec // *Precambrian Res.* 2011. V. 187. P. 58–78.
- McMenamin M.A.S.* A case for two late Proterozoic–earliest Cambrian faunal province loci // *Geology*. 1982. V. 10. № 6. P. 290–292.
- McMenamin M.A.S., McMenamin D.L.S.* The emergence of animals: the Cambrian breakthrough. New York: Columbia Univ. Press, 1990.
- Meert J.G.* Ediacaran–Early Ordovician paleomagnetism of Baltica: a review // *Gondwana Res.* 2014. V. 25. № 1. P. 159–169.
- Meert J.G., Lieberman B.S.* The Neoproterozoic assembly of Gondwana and its relationship to the Ediacaran–Cambrian radiation // *Gondwana Res.* 2008. V. 14. P. 5–21.
- Meert J.G., Torsvik T.H.* Palaeomagnetic constraints on Neoproterozoic “Snowball Earth” continental reconstructions // *The Extreme Proterozoic: Geology, Geochemistry, and Climate*. Eds. Jenkins G., McMenamin M., Sohl L., McKay C. AGU Geophysical Monograph, 2004.
- Meert J.G., Walderhaug H.J., Torsvik T.H., Hendricks B.W.H.* Age and palaeomagnetic signature of the Alno carbonatite complex (NE Sweden): additional controversy for the Neoproterozoic position of Baltica // *Precambrian Res.* 2007. V. 154. P. 159–174.
- Miller A.J.* A revised morphology of *Cloudina* with ecological and phylogenetic implications. Unpublished technical report. Harvard Univ., 2004. 21 p. http://ajm.pioneeringprojects.org/files/CloudinaPaper_Final.pdf
- Nance R.D., Murphy J.B., Santosh M.* The supercontinent cycle: a retrospective essay // *Gondwana Res.* 2013. V. 25. P. 4–29.
- Narbonne G.M., Hofmann H.J.* Ediacaran Biota of Wernecke Mountains, Yukon, Canada // *Palaentology*. 1987. V. 30. P. 647–676.

- Pisarevsky S.A., Murphy J.B., Cawood P.A., Collins A.S.* Late Neoproterozoic and Early Cambrian paleogeography: models and problems // West Gondwana: Precenozoic Correlations across the South Atlantic Region. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2008. V. 294. P. 9–31.
- Powell C. McA.* Are Neoproterozoic glacial deposits preserved on the margins of Laurentia related to the fragmentation of two supercontinents? // Comment. Geology. 1995. V. 23. P. 1053–1054.
- Powell C. McA., Li Z.X., McElhinny M.W. et al.* Paleomagnetic constraints on timing of the Neoproterozoic breakup of Rodinia and the Cambrian formation of Gondwana // Geology. 1993. V. 21. P. 889–892.
- Serezhnikova E.A.* Vendian *Hiemalora* from Arctic Siberia reinterpreted as holdfasts of benthic organisms // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2007. V. 286. P. 331–337.
- Shatsillo A.V., Didenko A.N., Pavlov V.E.* Two competing paleomagnetic directions in the Late Vendian: new data for the SW Region of the Siberian Platform // Rus. J. Earth. Sci. 2005. V. 7. P. 1–24.
- Smith A.G.* Paleomagnetically and tectonically based global maps for Vendian to mid-Ordovician time // The Ecology of the Cambrian Radiation. Eds. Zhuravlev A.Yu., Riding R. New York: Columbia Univ. Press, 2001. P. 11–46.
- Smith E.F., Nelson L.L., Tweedt S.M. et al.* A cosmopolitan late Ediacaran biotic assemblage: new fossils from Nevada and Namibia support a global biostratigraphic link // Proc. R. Soc. B: Biol. Sci. 2017. V. 284 (1858). P. 1–10.
- Stump E.* The Ross orogen of the Transantarctic Mountains in the light of the Laurentian–Gondwana split // GSA Today. 1992. V. 2. P. 25–27, 30–33.
- Sun W.G.* Late Precambrian Pennatulids (sea pens) from the Eastern Yangtze Gorge, China: *Paracharnia* gen. nov. // Precambrian Res. 1986. V. 31. P. 361–375.
- Tang F., Yin C., Bengtson S. et al.* Octoradiate spiral organisms in the Ediacaran of South China // Acta Geol. Sinica. 2008. V. 82. P. 27–34.
- Tang F., Bengtson S., Wang Y. et al.* *Eoandromeda* and the origin of Ctenophora // Evolution and Development. 2011. V. 13. № 5. P. 408–414.
- Torsvik T.H.* The Rodinia jigsaw puzzle // Science. 2003. V. 300. P. 1379–1381.
- Torsvik T.H., Gaina C., Redfield T.F.* Antarctica and global paleogeography: from Rodinia, through Gondwanaland and Pangea, to the birth of the Southern Ocean and the opening of gateways // Antarctica: A Keystone in a Changing World. Proc. 10th Int. Symp. on Antarctic Earth Sciences. Washington, DC: The National Academies Press, 2008. P. 125–140.
- Waggoner B.M.* Biogeographic analyses of the Ediacaran biota: a conflict with paleotectonic reconstructions // Paleobiology. 1999. V. 25. P. 440–458.
- Wang Y., Chen H., Wang X., Huang Y.* Evolution of the Ediacaran Doushantuoian Meta-Paleo-Community in northeast Guizhou South China // Acta Geol. Sinica. 2011. V. 85. № 3. P. 533–543.
- Zhuravlev A.Yu., Gamez Vintaned J.A., Ivantsov A.Yu.* First finds of problematic Ediacaran fossil Gaojiashania in Siberia and its origin // Geol. Mag. 2009. V. 146. № 5. P. 775–780.
- Zhuravlev A.Yu., Liñán E., Gámez Vintaned J.A. et al.* New finds of skeletal fossils in the terminal Neoproterozoic of the Siberian Platform and Spain // Acta Palaeontol. Polon. 2012. V. 57. № 1. P. 205–224.

Рецензенты *Н.Б. Кузнецов, М.А. Федонкин*

PALEOBIOGEOGRAPHIC ANALYSIS OF THE ASSEMBLAGES OF LATE VENDIAN MACROFOSSILS

M. A. Zakrevskaya

Paleontological institute of RAS, Moscow, Russia

The similarity analysis of the taxonomic composition of the 13 main localities of the Vendian macrofossils worldwide was performed according to the Ohai coefficient. There are two distinct subgroups among shallow-marine localities. The first subgroup consists of the following localities: Australia, the southeastern White Sea area, Podolia, India, and the Urals (degree of similarity 0.16–0.38). The second subgroup includes the localities of Siberia, Northwest Canada, Southern China, South America, Southern Namibia, and the USA (degree of similarity is up to 0.58). Such a division of the shallow-marine localities corresponds to the spread of carbonate sediments and the distribution of the tubular problematical species *Cloudina*. It can be assumed that this difference occurs due to the association of the localities of the second subgroup to warm-water climatic conditions (precipitation of carbonates, distribution of problematical remains with a carbonate skeleton), while the localities of the first subgroup are confined to cold-water conditions. Thus, the performed analysis indicates the location of the cratons of Australia, Baltica, and India at high latitudes (which differs from the results demonstrated in some paleotectonic reconstructions based on paleomagnetic studies) and confirms the hypothesis of the location of the Siberian platform at tropical and subtropical latitudes. Based on the conducted analysis, two paleobiogeographical areas were identified for the Late Vendian: the Subpolar area (Australia, Baltica, India) and the Equatorial area (Siberia, Laurentia, Kalahari, South China, Rio de la Plata).

Keywords: Precambrian, Vendian, Ediacaran biota, paleogeography, paleobiogeography.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-592X275113-122>