

## ТЕРРЕЙН АЛЕКСАНДРА СЕВЕРОАМЕРИКАНСКИХ КОРДИЛЬЕР: КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИЛУРИЙСКО-ДЕВОНСКОЙ ПАЛЕОГЕОГРАФИИ

© 2013 г. К. М. Соджа\*, А. И. Антошкина\*\*

\*Департамент геологии Колгейтского университета  
Хамилтон, Штат Нью-Йорк, США  
E-mail: csoja@colgate.edu

\*\*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН  
119017, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54  
E-mail: antoshkina@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 30. 07.2012 г.

В статье опровергается выдвинутая в 2010 г. модель Р. Блоджетта (Blodgett) с соавторами, предлагающая новую трактовку происхождения террейна Александра (АТ) Аляски и северной Канады, основанную на обзоре некоторых силурийских и девонских фоссилий и свит, показывающих сходство с Омуплевским террейном (ОТ) северо-восточной России. Согласно этой модели сходство между мирнинской свитой Омуплевских гор северо-восточной России и формацией Кархин АТ является доказательством того, что АТ является отколотым “тектоническим блоком”, перемещенным из Восточной Сибири в позднем девоне–раннем карбоне. В данной статье мы показываем, что в их обзоре были опущены важные публикации, являющиеся современным свидетельством геологической истории АТ, более детальных силурийско-девонских стратиграфических взаимоотношений и сходства фауны. Вместе эти данные опровергают предлагаемую Р. Блоджеттом гипотезу и поддерживают раннюю модель, показывающую образование АТ как островной дуги, располагавшейся в середине палеозоя в пределах Уральского морского пути в близости к Лаврентии, Балтике и Салаиру.

Ключевые слова: *террейн Александра, фоссилии, свиты, геологическая история, палеозой.*

### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ АТ

Геология АТ была центром исследований и детального изучения более столетия [80 и ссылки там]. Фактически, АТ – один из самых крупных и хорошо изученных террейнов, подстилающих североамериканские Кордильеры. Обильные данные – по палеомагнетизму, геохронологии по обломочным цирконам и палеонтологии – свидетельствуют о наличии хорошо обнаженной мощной (10 км) практически непрерывной последовательности палеозойских пород с хорошо сохранившимися разнообразными окаменелостями, слабо деформированными и почти не измененными [89].

Авторы [28] приводят разные модели происхождения АТ, но не рассматривают первую универсальную модель, предложенную в конце 1980-х и начале середины 1990-х гг. Она объясняла тектоническую природу вулканогенно-осадочного разреза палеозойских пород, обнажающихся в южной части террейна и вблизи о-ва Принца Уэльского [46–49]. Также не были упомянуты другие исследования, которые существенно продвинули понимание истории перемещения АТ в среднем палеозое и во время его объединения с другими террейнами до аккреции с западной Северной Америкой

в позднем мезозое-раннем кайнозое [37, 39 и ссылки в них]. Например, петрологическое и петрографическое изучение разнообразных магматических и осадочных пород с обилием вулканокластических и бескварцевых фаций, указывающих на образование южной части АТ в неопротерозое–раннем палеозое как островной дуги [47, 48].

В дальнейшем неопротерозойско-раннепалеозойское островодужное происхождение АТ было подтверждено детальными работами по геохимии, обломочным цирконам, палеомагнетизму, стратиграфии, литологии и эндемичностью палеобиоты [30, 46, 51, 77, 86, 88, 89 и ссылки в них]. В частности, показано, что большинство древних пород АТ сформировано из “ювенильного мантийного материала”, который прорвался и был переработан на удаленном от континентальных окраин расстоянии, где кратонный материал отсутствовал до середины палеозоя [73, 74]. Это противоречит утверждению об образовании АТ в результате континентального раскалывания [28, р. 323]. Палеомагнитные данные и обломочные цирконы из верхнесилурийско-нижнедевонской формации Кархин свидетельствуют о том, что АТ лишь в позднем силуре–раннем девоне столкнулся с континентом [46], располагавшимся в пределах 14° палеоэкватора [25, 30].

Кроме того, в обсуждаемой статье отсутствует детальный обзор карбонатных отложений в островодужных террейнах западных Кордильер, объясняющих многие “аномальные” особенности АТ: экстраординарная мощность (>10 тыс. м) палеозойской последовательности, резкие изменения фаций, распознаваемые на близком расстоянии, и относительно обедневшая ордовикско-пенсильванская биота, в целом показывающая противоречивое провинциальное родство [85, 86]. Осадконакопление в пределах современных островных дуг, расположенных в тропиках и субтропиках, подобно АТ в среднем палеозое, имеет свои особенности [88]. Вулканические дуги испытывают продолжительное прогибание, обеспечивающее аккумуляционное пространство для накопления многокилометровых мелководно-морских осадков. Эпизодическое проявление тектоники и неустойчивый вулканизм приводят к сильно расчлененной топографии, определяющей резкую смену морских фаций. Организмы, развивающиеся в современных островных дугах, отделены от сообществ континентальных окраин глубокими океанскими бассейнами. Так, в предкайнозойских островных дугах биота развивалась в изоляции от сообществ обширных эпиконтинентальных морей. Нормально-морская биота, населяющая изолированные морские платформы в островных дугах, имеет относительно небольшие ареалы распространения (по сравнению с эпиконтинентальными морями) и обычно характеризуется поселениями относительно низкого разнообразия, изобилия и плотности, смешанными палеобиогеографическими свойствами и эндемичными таксонами. Эти качества отражают влияние размеров областей, пригодных для обитания, на изолированность колонизации, видообразование и процессы вымирания в пределах ограниченных популяций, помогающих объяснить палеобиогеографию ископаемой биоты АТ [85, 88].

С 2009 г. для систематизации обильного материала по геологии запада Северной Америки организуются специальные конференции, помогающие объединить множество междисциплинарных геологических данных об АТ и других кордильерских террейнах [100 и др.]. Использование некоторых из тех публикаций позволило бы авторам [28] предложить модель, обоснованную геологическими данными, которые были уже получены для АТ. В частности, исследования на севере Британской Колумбии убедительно доказали сложное строение АТ [27, 36–38, 104]. Породы, выходящие на севере АТ на субтеррейне Св. Элиаса, характеризуются мафическим вулканизмом и содержат органогенные породы морского генезиса, которые сформировались на континентальной окраине или в задуговом бассейне дуги Дискон (Descon) южного АТ. Эти отложения имеют сходный состав земной коры и образовались во время формирова-

ния Уральского морского пути в результате отделения от Балтики в позднем кембрии–раннем ордовике [27]. Обломочные цирконы из девонского песчаника, отражающего время деформации в северной части АТ, свидетельствуют, что субтеррейны Св. Элиаса и Крейга были соединены во время позднесилурийско-раннедевонского клакасского (Klakas) орогенеза [27, 104].

В основном за прошлые два десятилетия не появилось никаких других доказательств, оспаривающих неопротерозойско-раннепалеозойское островодужное происхождение южной части АТ. Самые последние геохимические исследования верхнекембрийско-среднеордовикских вулканических пород АТ, выходящих в горах Св. Элиаса на северо-западе Канады [26], также показали присутствие надсубдукционных вулканитов наряду с другими (в частности, принадлежащими срединно-океаническим хребтам и океаническим островам), что подтверждает наличие в АТ комплексов островной дуги. В модели, предполагающей образование АТ при откалывании от Восточной Сибири в среднем-позднем палеозое, нет свидетельств, которые бы модифицировали или опровергали существующие данные о геологической истории южной части АТ как океанического острова. Таким образом, мы отклоняем эту гипотезу из-за отсутствия геологических доказательств для ее поддержки.

#### СТРАТИГРАФИЯ СИЛУРА–ДЕВОНА АТ

Авторы [28] дали лишь краткий обзор силурийских и девонских свит из южной части АТ, поэтому стратиграфический разрез (fig. 4в в цитируемой статье) настолько обобщен, что не может быть использован для детальных корреляций. Такие сопоставления необходимы для решения пространственно-временных проблем АТ и других террейнов или континентов, с которыми они, возможно, были связаны. Кроме того, отсутствует информация о фактическом материале из АТ и методах, используемых для реконструкций палеосообществ. Карта, показывающая местоположения исследованных стратиграфических разрезов, облегчила бы оценку качества авторских данных, их интерпретаций, а также позволила бы другим исследователям в полевых условиях воспроизвести их результаты.

За прошедшие два десятилетия в результате многочисленных детальных стратиграфических исследований палеозойских пород в южной части АТ получены данные, позволяющие с еще большей точностью проводить сравнение АТ с другими тектоническими объектами [72, 82–84, 86, 89, 94]. Работы Н. М. Севиджа (Savage) за 1977 г. [28], базирующиеся на ранних исследованиях по граптолитам и другим таксонам [31, 32, 65], были важны для обоснования возрастного расчленения по конodontам многих формаций. Этот биостратиграфи-

ческий контроль был основополагающим для исследования на о-ве Кесаан (*Kasaan*), расположенном на АТ восточнее о-ва Принца Уэльского, где Е.М. Киндл [53] выявил сходство девонских брахиопод и ассоциирующей фауны с уральскими. К середине 1980-х гг. было закончено первое исследование той важной фауны, возраст которой был определен как эмсский [75]. Все это противоречит утверждению, что “экзотический евразийский (то есть, не североамериканский) характер силурийской и девонской фаун юго-восточной Аляски” не был “вообще распознан современными исследователями, изучающим геологию юго-восточной Аляски” [28, р. 325]. Последующие работы [79–81] поддержали островодужную модель АТ, так как биота включает смесь эндемичных и космополитных видов, и сложная цепь провинциальных сходств отражает развитие террейна как изолированного местного анклава в пределах Кордильер.

Самые детальные литолого-стратиграфические работы на АТ до настоящего времени сосредоточивались на формации Хекета (*Heceta*) [90 и ссылки там]. Они основывались на ранних исследованиях [43, 44, 65, 76], включавших картирование более 2900 м выходов пород, обнаженных вдоль 65 км береговой линии. Кроме того, в течение двух десятилетий были изучены тысячи полевых образцов и шлифов, многочисленные коллекции фоссилий и опубликована почти дюжина детальных стратиграфических разрезов [82–84, 89 и ссылки там, 98]. Нами в заливе Глэйше Бэй (*Glacier Bay*) были выполнены первые детальные палеонтологические, литологические и стратиграфические исследования формации Уиллоуджби (*Willoughby*) [96, 98], позволившие провести корреляцию с формацией Хекета, развитой в 800 км южнее. В публикациях по силурийским и нижнедевонским формациям АТ приводились детали по ископаемой биоте и ее интерпретации в палеоэкологическом и тектоническом контексте. Таким образом, эти данные имеют большое значение для палеобиогеографических интерпретаций и должны были быть упомянуты Блэджеттом и др. [28].

Наши работы показали, что отложения более двух третей формации Хекета образовались на относительно глубоководном континентальном склоне [82, 89 и ссылки там], что находится в явном противоречии с определением известняков формации [28, р. 323] в целом как “мелководных карбонатов”. Композиционно сложные стратиграфические разрезы формаций Дискон (*Descon*), Хекета и Кархин и их литологические особенности [89 и ссылки там, 94] отражают важные моменты истории осадкообразования АТ, на что необходимо было обратить внимание авторам статьи при сравнении биот АТ и ОТ. Смена глубоководных турбидитов мелководно-морскими рифами, а затем лагунами фациями (рис. 10) отражает тенденцию на об-

меление нижнесилурийской части разрезов формаций Дискон и Хекета в южном АТ. Широко развитые полимиктовые конгломераты формации Хекета представляют комплекс прибрежного аллювиального конуса выноса, образовавшегося во время раннего горообразовательного импульса и имеющего прерывистый характер карбонатной седиментации от раннего до среднего? лудлова [94].

Во время последующей лудловской трансгрессии, лагунные известняки Хекета сменялись микробиаально-афросальпингид-?гидроидными рифами, которые росли на окраине платформы (стрелки на рис. 1). Коллапс окраины и аккумуляция рифовых блоков на склоне произошли во время резкого углубления и последующего быстрого обмеления. Известняки в верхней части формации Хекета становятся все более и более алевроитистыми и глинистыми и находятся в согласном контакте с перекрывающей формацией Кархин. Более 1500 м красных терригенных слоев и мелководно-морских отложений этой формации отражают кульминационную фазу позднесилурийско-раннедевонской клакасской орогении [49, 94]. Как будет показано ниже, именно эта стратиграфическая основа является базовой для детальных корреляций с другими террейнами, включая и те, что находятся в северо-восточной России.

#### СРАВНЕНИЕ СТРАТИГРАФИИ СИЛУРА–ДЕВОНА ОТ И АТ

Авторы [28] утверждают, что “силурийско-среднедевонская последовательность южной части АТ (т. е., западный о-в Принца Уэльского) повторяет в общем стратиграфическую последовательность в Омuleвских горах” (р. 323). Тут же они говорят, что “мирнинская свита Омuleвских гор представляет близкий аналог формации Кархин и имеет тот же возраст”. Мы опровергаем эти утверждения и вывод о том, что формация Кархин имеет “поразительно общие черты в литологии” с “явно разновозрастной” мирнинской свитой ОТ (р. 332).

На рис. 1 дан сводный стратиграфический разрез рассматриваемых силурийских и девонских отложений АТ для более четкого сопоставления с ясачной свитой, показанной [28, fig. 6]. При их сравнении ясно видно, что стратиграфические разрезы силура–девона ОТ и АТ имеют как литологические, так и палеонтологические отличия. Самые существенные по стратиграфическому разрезу включают следующие: 1) лландоверийские отложения на ОТ представлены конгломератами, кварцитфельдшпатовыми песчаниками/алевролитами, а на АТ в это время развиты известковые аргиллиты, формировавшиеся как известковые турбидиты на глубоководном склоне, и 2) от венлока до лудлова на ОТ глинистые известняки, мергели и сланцы

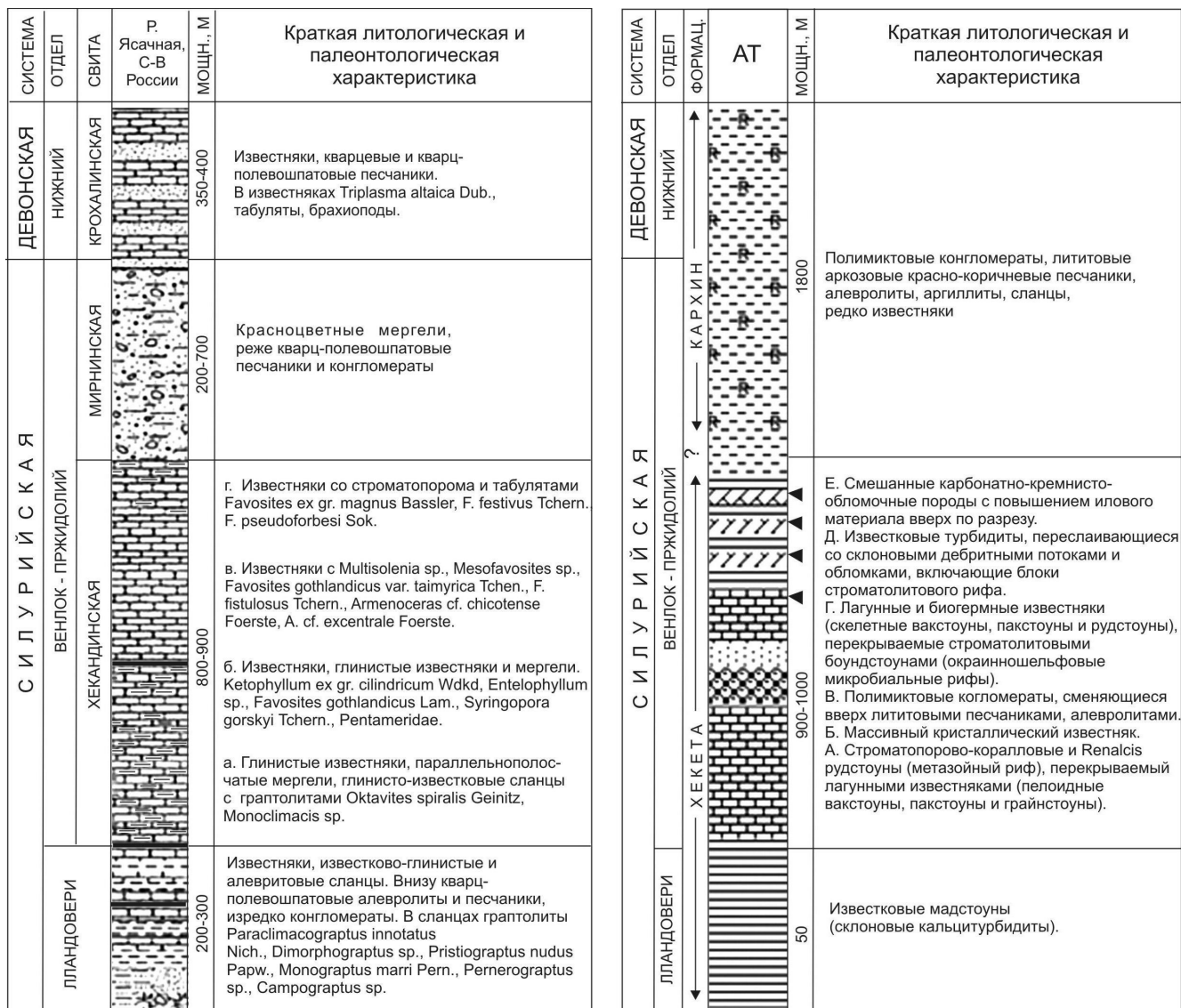


Рис. 1. Сопоставление разрезов силурийско-нижнедевонских отложений северо-восточной России (по: [29]) и АТ (сводный разрез составлен по материалам: [43, 44, 72, 82, 86, 89]).

Стрелки справа от колонки указывают лудловские отложения с афросальпингидами на АТ (доминирующие таксоны включают *Ludlovina*, *Hectaphyton*, *Sphaerina*, афросальпингиды и *Fistulella* [91, 96]). Заметьте отсутствие в отложениях лландовери-пржидола в разрезах ОТ и АТ сходства в мощностях, литологии, стратиграфической последовательности и фауне, особенно отсутствие афросальпингид-содержащих строматолитовых рифов в северо-восточной России. На ОТ красные слои, подобные верхнесилурийско-нижнедевонской формации Кархин (фашии Древнего Красного Песчаника), нетипичны или слабо развиты. Вернее сказать, на ОТ верхнесилурийско-нижнедевонские мелководные доломиты и тонкоплитчатые известняки переслаиваются с локальными, редко проявляющимися слоями известкового песчаника, известковой глины, алевролита и аргиллита [11, 15, 42, 63, 101].

сменяются вверх строматопорова-табулятовыми известняками, в то время, как на АТ метазойные рифы и лагунные известняки перекрываются полимиктовыми конгломератами мощностью 1000 м, переходящими вверх в окраинно-шельфовые микробиальные рифы, продукты разрушения которых в виде слоев рифовых брекчий сохранились среди склоновых известковых турбидитов (рис. 1).

Таким образом, стратиграфическая корреляция показывает существенное отличие в последо-

вательности и литологии силурийско-девонских стратонот АТ и ОТ. В частности, разрез ОТ отражает осадконакопление на пассивной континентальной окраине [42, 63, 101], где углубление в прибрежной обстановке в лландоверийское время характеризовалось накоплением глинистых известняков, мергелей и алевролитовых сланцев, т.е. терригенной седиментацией. Перекрывающие известняки (хекандинская-бизонская свиты) с нормально-морскими метазоями в резуль-

тате регрессии сменились накоплением доломитов (эвапоритовые условия?) и редкой силикокластики (мирнинская свита), а затем вновь образованием известняков (крохалинская и нелюдимская свиты). Все это свидетельствует о совершенно ином характере седиментации в ОТ, не соответствующем осадочной последовательности в одно-возрастном разрезе южной части АТ (описанной в предыдущем разделе). Этот факт является достаточным основанием для отклонения утверждения о стратиграфическом сходстве разрезов АТ и ОТ.

Авторы [28, fig. 6] также говорят о “необычно мощном разрезе” красных мергелей и “более редких кварц-полевошпатовых песчаниках и конгломератах” мирнинской свиты (пржидолий?) на ОТ и о вероятном сходстве силурийских брахиопод с АТ (неопубликованные данные) с таковыми из бизонской свиты в Омилевских горах. Однако, согласно данным многих исследователей [7, 11, 14, 15, 42, 63, 101], верхнесилурийско-нижнедевонские терригенные породы на ОТ редки и только локально могут достигать мощности 100 м. Преобладают, прежде всего, известняки и доломиты в ассоциации с мергелями, алевролитами и аргиллитами. Итак, верхнесилурийско-нижнедевонские терригенные породы не являются типичными для ОТ, и утверждение, что мирнинская свита ОТ “поразительно сходна” или “близкий аналог” красных терригенных отложений формации Кархин АТ мощностью 1800 м не может служить доказательством выдвинутой гипотезы.

#### ПРОВИНЦИАЛЬНЫЕ СХОДСТВА СИЛУРИЙСКО-ДЕВОНСКИХ БИОТ АТ

Несмотря на утверждение авторов [28, p. 324], что предыдущие “исследования одобрили Балтийскую палеопозицию” для АТ, они, “основываясь на палеонтологических данных и стратиграфическом сходстве чувствуют, что наиболее вероятно все же евразийское происхождение (северовосток России)”.

Далее (p. 332) они предполагают, что АТ был в “непосредственной близости к ОТ”, поскольку “присутствие как силурийских, так и девонских пород карбонатной платформы, имеющих фауну, сходную с фауной ОТ, выше и ниже формации Кархин, также обуславливает сильную связь”. Все же, за исключением этой очень общей ссылки на “породы карбонатной платформы”, нет никаких литологических или палеоэкологических деталей, дающих палеобиогеографическую оценку фауны АТ.

Для биот террейна, чьи биогеографические источники еще неясны, простое таксономическое сравнение с одновременно существующими в другом месте сообществами недостаточно для того, чтобы выявить экологические и биогеографические факторы, влияющие на развитие фауны в рас-

сматриваемом террейне [85, 88]. Несходства в таксономическом составе сопоставляемых сообществ могут быть результатом различия условий окружающей среды, которые даже при географической близости могли препятствовать разделению совместных таксонов. Таксономические различия, не обсуждаемые в цитируемой статье, могут также отражать биогеографические последствия, включающие степень изоляции, богатство видов в исходных областях, рассредоточение имеющихся таксонов, океанографическую циркуляцию, климат, тектонические или другие барьеры [57, 88]. Поэтому, биологические и литологические данные важно объединять с обстановками седиментации. Такая информация необходима для определения важности экологической роли бентоса в структуре сообществ и биогеографии для определения провинциального сходства фаун террейнов [81, 85, 88].

В табл. 1 мы представляем компиляцию данных из [28] и палеонтологических свидетельств, не упомянутых ими. Прежде, чем обсуждать эти результаты, мы отметим, что доказательства авторов, могут быть использованы лишь как первое приближенное палеобиогеографическое сходство биот АТ. Например, они отмечают четыре таксона лудловских брахиопод в Колымской области, “которые были ранее известны, прежде всего, на АТ” (p. 326). И в этом, и во всех подобных случаях, авторы не включают крайне важную информацию о том, как присутствуют специфические таксоны – обильно, обычно или редко; какой процент имеют “ключевые” таксоны среди сравниваемых фаун в целом, а также процент совместных сопоставляемых таксонов; и, как упоминалось выше, не отмечают их экологических особенностей. Также не сказано, что приводимые ими таксоны с Восточного Урала, развивались в пределах островных вулканических дуг до их аккреции с восточной Балтикой [22 и ссылки там]. Такая информация необходима для того, чтобы определить степень сходства и различия сравниваемых биот прежде, чем палеобиогеографические выводы могут быть рассмотрены в тектоническом контексте.

Как видно из табл. 1, более полные данные, представленные в ней, противоречат выдвигаемой гипотезе, что “повсеместное близкое сходство силурийско-девонских фаун с-в России (особенно Колымская область), так же как стратиграфическое расчленение, указывает скорее на происхождение АТ в последнем регионе” [28 p. 328]. Приведенные данные показывают самое большое сходство, прежде всего с Балтикой, и затем с террейном Фазвел (Farewell) – ФТ, Лаврентией, Салаиром в юго-западной Сибири и островодужными террейнами Восточного Урала, аккретировавшими к континентальной окраине, начиная с позднего девона. Наименьшее сходство имеется с биотами Сибирской платформы, ОТ и других регионов.

**Таблица 1.** Компиляция палеонтологических данных из террейна Александра, по Р. Блуджетт и др. [29]

АТ ТАКСОН	ВРЕМЯ	БАЛТ	ФТ	ЛАВР	САЛ	ВУТ	СИБ	ОТ	СВР	ЛТ	КТСА	КАН	АТ	КОС	?Т
Брахиоподы	Sil	×		×		×		×						×	
	Prag		×												
	Ems	×		×			?		×						
	Eifel		×	×											
Гастроподы	Udev													×	
	Sil	×	×			×					×				
	Ems	×	×												
Бивалвии	Eifel		×							×					
	Sil												×		
Скафоподы	Ems	×													
	Sil												?		
Трилобиты	Sil			×								×	?		
	Dev													×	
Губки (афросальпин.)	Sil	×	×		×	×									
Граптолиты	Sil													×	
	Dev													×	
Ругозы	Sil	×					×								
	Ems	×		×	×	×	×	×							
Табуляты	M-Udev	×		×	×										
	Dev														×
Наутилоидеи	Sil													×	
	Ems	×													
Конодонты	Sil														
	Ems														
Гидроиды	Sil	×	×		×	×									
Микробиота	Sil	×	×		×		×								
Ихнофоссилии	Sil													×	
Итого		12	8	6	5	5	3+?	2	1	1	1	1	1+?	7	1

Примечание. Палеонтологические данные представлены в порядке убывания общих таксонов от более явного к более слабому палеобиогеографическому сходству. Дополнительные палеонтологические свидетельства, не включенные в эту статью и провинциальные сходства общих таксонов выделены серым. Сортировка по возрасту дана в табл. 2.

Дополнительные данные: по афросальпингидам из [18]; по силурийско-девонским ругозам в порядке повышения сходства из [66]; по проблематичным гидроидам *Fistulella* из [2, 23, 96]; по 14 разновидностям цианобактерий, возможных цианобактерий, известковых водорослей и микропроблематике из [71, 91, 89, 97, 98]; по пяти ихнотаксонам из [85].

АТ – эндемичный террейн Александра, БАЛТ – Балтика, КАН – Канадская Арктика, КОС – космополит, ВУТ – Восточный Урал (аккретированные островодужные террейны по [22]), ФТ – террейн Фарвел юго-западной Аляски, ?Т (неопределенный), ЛАВР – Лаврентия, ЛТ – террейн Ливенгуд (Livengood) центрально-восточной Аляски, СВР – северо-восточная Россия, ОТ – террейн Омилевский, САЛ – Салаир, СИБ – Сибирь, КТСА – кордильерские террейны на западе Северной Америки.

Чтобы установить, оставались ли провинциальные сходства устойчивыми в течение времени, мы рассортировали данные по возрастам. Как видно из табл. 2, некоторые характерные таксономические группы показывают невыдержанные палеобиогеографические признаки (например, силурийские брахиоподы и гастроподы; пражские и эмские брахиоподы и т.д.). Но в целом, биота АТ, начиная с силура и до среднего девона, имеет наибольшее провинциальное сходство с Балтикой, а затем с ФТ. Самое большое сходство с островодужными террейнами, аккретировавшими к Восточному Уралу, и с Салаиром имеется в силуре, а не в девоне, а с Лаврентией, напротив, – в девоне. Эти самые важные данные, сведенные в таблицу, показывают, что в силуре и девоне биота АТ имела наименьшее сходство с биотами ОТ на северо-востоке России. Фактически, лишь некоторые силурийские брахиоподы и эмские ругозы являются единственными общими таксонами между АТ и ОТ.

Таким образом, вывод, что биоты АТ и ОТ объединяет “*близкое родство*” [28, р. 332], должен быть опровергнут в пользу того вывода, который признает наибольшее сходство биот АТ с сообществами Балтики, ФТ, Лаврентии и Салаира. Как показано ниже, это хорошо согласуется с ранее опубликованными палеонтологическими исследованиями, которые вместе со всеми доступными геологическими данными помещают АТ в среднем палеозое вдоль Уральского морского пути в области, удаленной от ОТ [37, 38, 89 и ссылки там].

#### ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ В СИЛУРЕ–ДЕВОНЕ

Разрешение противоречий сложной геологической истории террейнов в Северной Америке и в других местах для определения пределов их местоположения во времени зависит от осторожного объединения всех имеющихся геологи-

**Таблица 2.** Сортировка палеонтологических данных, представленных в табл. 1, по возрасту.

АТ ТАКСОН	ВРЕМЯ	БАЛТ	ФТ	ЛАВР	САЛ	ВУТ	СИБ	ОТ	СВР	ЛТ	КТСА	КАН	АТ	КОС	?Т
Брахиоподы	Sil	×		×		×		×						×	
Гастроподы	Sil	×	×			×					×				
Бивалвии	Sil												×		
Скафоподы	Sil												?		
Трилобиты	Sil			×								×	?	×	
Губки (афросальпин.)	Sil	×	×		×	×									
Граптолиты	Sil													×	
Ругозы	Sil	×					×								
Конодонты	Sil													×	
Гидроиды	Sil	×	×		×	×									
Микробиота	Sil	×	×		×		×								
Ихнофоссилии	Sil													×	
Итого		6	4	2	3	2	2	1	0	0	1	1	1+?	4	0
Брахиоподы	Prag		×												
	Ems	×		×			?		×						
	Eifel		×	×											
	Udev													×	
Гастроподы	Ems	×	×												
	Eifel		×							×					
Бивалвии	Ems	×													
Трилобиты	Dev													×	
Граптолиты	Dev													×	
Ругозы	Ems	×		×	×	×	×	×							
Табуляты	M-Udev	×		×	×										
Наутилоидеи	Dev														×
Конодонты	Ems	×													
Итого		6	4	4	2	1	1+?	1	1	1	0	0	0	3	1

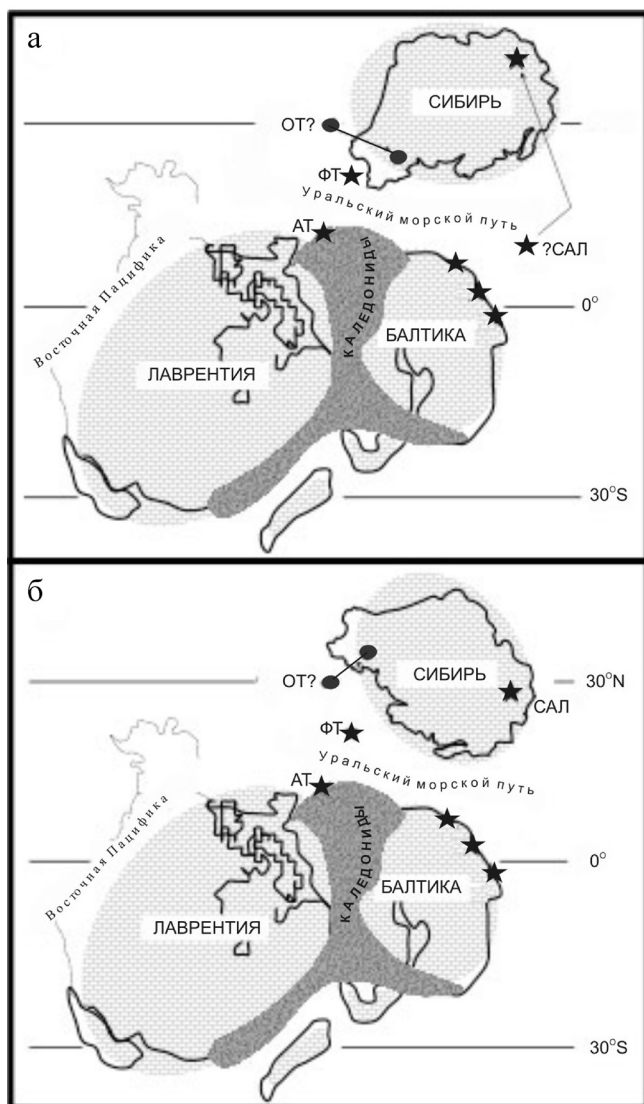
Примечание. Сокращения и ссылки см. в примечании к табл. 1.

ческих данных. Палеогеографические обстановки, полученные по изотопной геохимии, палеомагнетизму и времени событий деформации, теперь могут быть точнее подтверждены геохронологией обломочных цирконов. Глобальная база данных для возрастов магматических тел в докембрийских породах показывает, что кратоны и определенные части кратонов включают характерные комплексы обломочных цирконов. Это обстоятельство позволяет использовать возрасты обломочных цирконов в террейнах как геологический “индикатор” идентификации положения кратона, где эти минералы сформировались прежде, чем они были разрушены и осадки были перемещены транспортными системами к смежным террейнам [37, 38, 61]. Для ограничения местоположения террейнов/континентов в течение времени [25, 30, 46, 64 88, 94] палеонтологические данные используются с учетом влияния миграционных барьеров и океанографических циркуляций на расселение питающихся и не питающихся планктоном личинок [57, 62, 88]. Так как в статье [28] отсутствует схема палеогеографии Северного полушария в палеозое и ее обсуждение, ниже мы делаем краткий обзор палеогеографической ситуации того времени.

### Лавруссия

В раннем–среднем палеозое Лаврентия и Балтика были сгруппированы около экватора (рис. 2), отделенного от Сибири, расположенной к северу, Уральским морским путем [34, 50]. В течение силура этот морской путь охватывал экватор с двух сторон и был наиболее узким [55] по отношению к Сибири в непосредственной близости к Балтике [36]. В позднем силуре Лаврентия, Балтика и Авалония столкнулись во время завершающей фазы каледонской орогении и Пиерия (Pearya) соединилась с северным о-вом Элсмир в Арктической Канаде [36, 38, 55, 56]. Восточная Балтика (западный склон современного Урала) была пассивной континентальной окраиной до начала уральского орогенеза; вулканические дуги как террейны аккретировали к ней и, начиная с позднего девона, формировали восточный склон Урала [52, 70].

При объединении Лавруссии флишево-молассовые толщи “Древнего Красного Песчаника” (рис. 2) заполнили межгорные бассейны по всей Скандинавии, Британским островам, Гренландии и северо-восточной Канаде [24, 34, 39, 45, 99, 103, 111]. Вдоль северной окраины Лаврентии, простиравшейся от бассейна Франклин (Franklinian) до северной Грен-



**Рис. 2.** Две модели палеогеографии Северного полушария и отдельных террейнов вдоль Уральского морского пути в позднем силуре–раннем девоне.

(а) – условная географическая инверсия для Сибири ( $180^\circ$  ротация от современных координат) и (б) – частичная географическая инверсия (приблизительно  $135^\circ$  ротация против часовой стрелки от современных координат), которая согласовывает палеонтологические, седиментологические и палеоклиматические данные юго-западной Сибири. Звезды указывают возникновение подобных лудловских окраинноплатформенных рифов, построенных выразительным консорциумом кальцимикробов, афросальпингидных губок и проблематических гидроидов *Fistulella*. Пунктирный контур показывает западные Кордильеры Северной Америки, которые не существовали в силуре–девоне. Детали смотрите в тексте. Сокращения как в табл. 1. Модифицировано из [3, 37, 38, 55, 56, 94].

ландии, масса поступающих с каледонид осадков в большом числе сносилась в Уральский морской путь, заполняя глубоководные трог вплоть до затопления мелководно-морских платформ и заверше-

ния карбонатной седиментации на юге [36, 45]. Эти и другие крупномасштабные процессы обсуждаются ниже, поскольку именно они, скорее всего, оказали существенное влияние на обстановки в пределах субэкваториально-экваториального Уральского морского пути [94].

## Сибирь

Противоречивые свидетельства о палеоширотах Сибири и ориентации ее относительно современных координат создают проблемы при выработке палеогеографической модели Северного полушария в среднем палеозое, которая удовлетворяла бы всем данным рис. 2. Палеонтологи и седиментологи утверждали много лет, что большинство палеогеографических моделей для Сибири в среднем палеозое показывают ее расположение слишком далеко на севере [58]. Широкое распространение верхнеордовиско–девонских карбонатов и мощных комплексов барьерных рифов, обнаженных более чем на 500 км на Салаире, в Алтае-Саянской складчатой области и на юго-западе Сибири, являются четкими палеоклиматическими индикаторами расположения Сибири в силуре и девоне в пределах субтропиков и тропиков [58, 67, 106, 109].

Большинство палеогеографических реконструкций также показывают Сибирь в среднем палеозое в перевернутой на  $180^\circ$  позиции от ее современной ориентации, помещая области, подобные Салаиру, в слишком высокие широты, противореча тепловодным индикаторам, имеющимся в юго-западной Сибири. Такое положение Сибири в большинстве палеогеографических моделей основано на предположении [78], что изменение положения Сибири произошло в протерозое во время распада Родины [35, 60]. При этом отмечается, что для поздне-рифейского (~1100–730 млн. л) времени лишь 50% пород хорошо датированы испытаниями палеомагнитной стабильности. Для венда–раннего кембрия (~650–535 млн. л) только один из семи результатов является “хорошей статистической основой” и “ни один из полюсов не поддержан полевыми тестами палеомагнитной стабильности”. Десятилетие спустя, С.А. Писаревский и др. [69] пишут, что “возраста сибирских полюсов недостаточно хорошо определены”, подчеркивая необходимость “осторожности в интерпретации движения Сибири” в позднем протерозое–раннем кембрии.

Кроме того, в других публикациях выражается недоверие к качеству палеомагнитных данных и предположениям, используемым для создания палеогеографических моделей. Например, Д.В. Метелкин с соавторами [59] замечают, что различия в выборе данных, “сглаживании” неоднородно распределенных данных о положении вендского полюса, точного датирования возраста пород и опре-



деления времени их намагничивания привели, по крайней мере, к четырем различным ТКДП (траекториям кажущегося движения полюса) для Сибири. Другие исследователи [69, 105] предполагают, что конфликт геологических данных с палеомагнитными интерпретациями мог произойти из-за перенамагничивания или ненадежных и плохо датированных ТКДП. Также [56] указывают, что эти палеомагнитные данные полагаются “на предположения” и учитывают только “приблизительное” размещение главных континентальных блоков. Они представляют модель для позднего протерозоя (616 млн. л), которая показывает Сибирь не перевернутую географически [55, fig. 5.2], отмечая, что необходимы еще прочие данные “пока еще необъясненного вращения почти на 180° между 616 и 545 млн. лет, которые бросают вызов обычной кинематике плит”. Мы принимаем во внимание эти противоречивые представления и предлагаем две модели, объясняемые ниже.

### Салаир

В дополнение к изложенному выше, дебаты сохраняются и в отношении палеозойской судьбы Салаира (рис. 2). Аккрегировал ли Салаир как неопротерозойско-раннепалеозойская островная дуга к юго-западной Сибири (современные координаты) в раннем ордовике, впоследствии являясь частью пассивной континентальной окраины, или он оставался независимым тектоническим элементом (микроконтинентом) до присоединения к Сибири в послесилурийское время? [3, 8, 12, 21, 40, 41, 59, 108, 110]. Таким образом, палеогеографическое положение Салаира в позднем силуре–раннем девоне все еще обсуждается, хотя ряд авторов, согласно некоторым палеомагнитным, палеонтологическим и литологическим данным определяют в среднем палеозое его местонахождение в пределах 30° экватора [8, 108, 109].

### СИЛУРИЙСКО-ДЕВОНСКАЯ ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ АТ

#### Геологические индикаторы

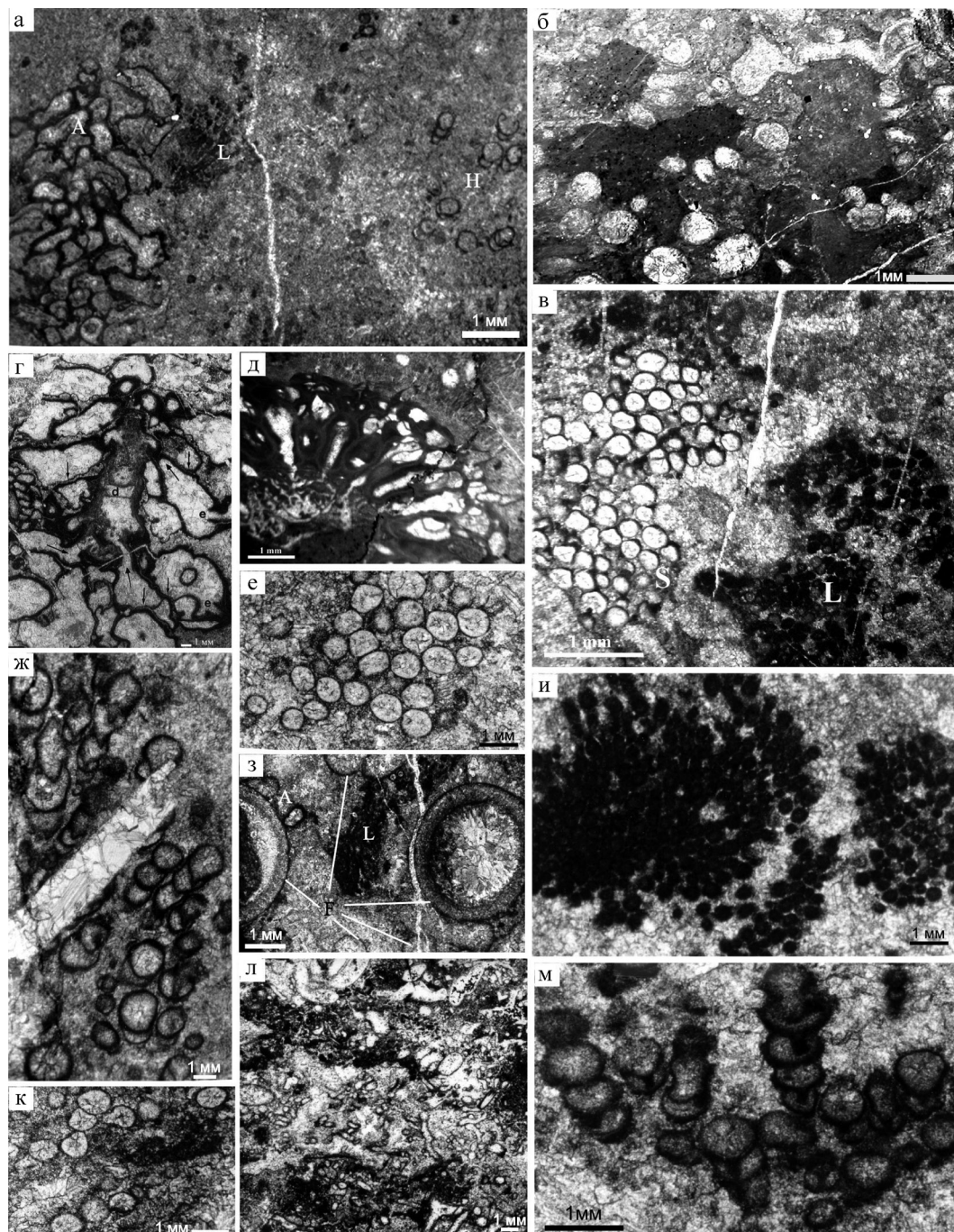
Исследования кордильерских террейнов на западе Северной Америки выделяют особую геологию южного АТ [107]. Любая модель геологической истории АТ должна принимать во внимание следующие палеогеографические индикаторы, не упомянутые авторами [28]. Во-первых, хотя АТ является одним из многих островодужных террейнов и, вместе с тем, он – один из немногих – содержит раннедокембрийские обломочные цирконы, соответствующие возрасту магматических пород, найденных только на Балтике [51, 61]. Во-вторых, Уэльское предордовикское орогенное событие на АТ имеет

общие черты с неопротерозойско-раннепалеозойским Тиманским орогеном северо-восточной Балтики [38]. В-третьих, АТ – единственный кордильерский террейн, испытавший позднесилурийско-раннедевонский орогенез – событие Клакас [51]. Это событие сначала было зарегистрировано в южном АТ во время накопления полимиктовых конгломератов лудловской формации Хекета мощностью 1000 м, а позднее – при накоплении верхнесилурийско-нижнедевонской толщи красных слоев формации Кархин мощностью 1.8 км. В-четвертых, обломочные цирконы формации Кархин более всего соответствуют цирконам из западной Балтики и северных каледонид [37, 38, 46, 51]. В-пятых, сходство литологии полимиктовых конгломератов формаций Хекета и Кархин с одновозрастными фациями Древнего Красного Песчаника и совпадение времени тектонизма дают основание говорить, что коллизия дуга–континент, испытанная АТ во время события Клакас, была связана с каледонским орогенезом [25, 27, 37, 38, 94, 104].

#### Палеонтологические индикаторы

Южный АТ является одним из двух кордильерских террейнов, где мощные рифы в позднем силуре (Ludlow) **формировались необычайно выразительным консорциумом микробиальных организмов** (цианобактерии, известковые водоросли и микропроблематика), сфинктозойных (афросальпингидных) губок и проблематических гидроидов *Fistulella* [28, 89 и ссылки там]. Массивность известняков и склоновые мегабрекчии, включающие крупные (до 10 м и более) рифовые блоки, литифицированные крупными корками кальцитовых цементов, указывают на то, что кальцимикробы строили мощные рифы на окраине платформы [83, 87, 98]. Ясно, что эти микробиальные образования не представляли сообщества донных матов, растущих в прибрежно-морских или литоральных зонах, как предполагали [36].

Отмечается, что на ФТ юго-западной Аляски одновозрастные рифы мощностью 500 м и протяженностью несколько сотен километров включают подобный набор микробиальных, губковых и ?гидроидных таксонов [33, 37, 38, 42]. Однако утверждение [28], что “*лудловские рифы АТ фактически идентичны лудловским рифам ФТ*” (р. 328), не обосновано, поскольку некоторые ключевые таксоны не являются общими [98]. К тому же, аляскинские рифы, не являясь идентичными, все же сильно напоминают строматолито-губково-?гидроидные рифы, формировавшиеся вдоль окраины Балтики и Салаира [90 и ссылки там]. Лудловские рифы из потаповской свиты Салаира показывают уникальное сходство с рифами Урала и АТ (рис. 3) и имеют общие таксоны с ФТ [3, 5, 9, 10, 23]. Однако, мы не можем представить изображения гидроидов или



**Рис. 3.** Представители лудловских рифовых микробально-метазойных ассоциаций юго-восточной Аляски, Урала и Салаира.

а – микробальный биогермный известняк, включающий афросальпингид *Cystophalamiella irregularis* (A), цианобактерии *Ludlovia* (L) и *Hecetaphyton* (H). Обр. 109/388-74, р. Илыч, Северный Урал; б – проблематические гидроиды *Fistulella variabilis* Sh. Обр. ИК-6-7-11, Ветохино, карьер, СЗ Салаир; в – кластеры микропроблематики *Sphaerina congregata* (S) и цианобактерий *Ludlovia multispora* (L). Обр. ИК-1-8-14, Ветохино, карьер, СЗ Салаир; г – афросальпингиды *Cystophalamiella irregularis* с *Aphrosalpinx nana* (вдоль левой стороны). Обр. МС-8а3-89, о-в Хекета, ЮВ Аляска; д – поперечный срез афросальпингиды *Aphrosalpinx* sp. в микробально-биокластовом известняке. Обр. 375-67-7, Ветохино, скв. 375, СЗ Салаир; е – кластер *Sphaerina congregata* Riding & Soja, 1993. Обр. МС-0а3-89, о-в Хекета, ЮВ Аляска; ж – кластер цианобактерий *Hecetaphyton* sp. Обр. 109-4/1.0-98, р. Илыч, Северный Урал; з – деталь проблематического гидроида *Fistulella undosa* Sh. с обрастаниями клеток афросальпингидной губки (на левом полипе) и *Ludlovia* sp. (L). Обр. ДI-90.1-970, о-в Дрейк, Глэйше Бэй, ЮВ Аляска; и – *Ludlovia multispora* Soja & Riding, 1993. Обр. ?, Стэней 2050, Форист Роуд, о-в Принца Уэльского, ЮВ Аляска; к – кластер *Sphaerina* sp. Обр. 109-384-74. р. Илыч, Северный Урал; л – биогермный микробально-фистулелловый (*Fistulella variabilis* Sh.) известняк. Обр. 1-335-76, р. Нияя, Полярный Урал; м – *Hecetaphyton alaskense* Riding & Soja, 1993. Обр. SB3-0E-89, Стэней 2050 Форист Роуд, о-в Принца Уэльского, ЮВ Аляска.

афросальпингид из ФТ, так как Клауг и Блджетт [33], говоря о присутствии этих таксонов, не приводят микрофотографий и характеристик их распространности, плотности в сообществах, размеров, распределения и взаимоотношения с другими организмами. В других публикациях также не имеется такой информации [72].

Сообщества зарифовых лагун на АТ ассоциируются с микробиально-губково-гидроидными рифами (рис. 1). Сообщества дна лагун характеризуются низким видовым разнообразием брахиопод, криноидей, кораллов и мшанок. Как обсуждалось выше, сходство смешанных рифовых и нерифовых таксонов на АТ показывает наиболее четкие палеогеографические связи с Балтикой (табл. 1, 2).

В своей модели для АТ в силуре–девоне [28, р. 328] утверждают, что *“присутствие подобных рифов и афросальпингид в Балтике позволило предположить некоторым исследователям [25, 90–92], что АТ возникла на том континенте”*. Это утверждение ошибочно, поскольку ни в одной из тех публикаций не говорилось, что АТ являлся фрагментом любого континента, включая Балтику. Все известные геологические свидетельства для южного АТ того времени указывали на его формирование как неопротерозойско-раннепалеозойской островной дуги [47, 48, 73, 74]. Новые данные по обломочным цирконам еще точнее определяют местоположение дуги в неопротерозое около окраины Балтики [51, 61].

Мы соглашаемся с утверждением, что *“Ранее предположенное происхождение АТ от Урала теперь считают маловероятным, так как красноцветные терригенные слои, широко распространенные в верхнем силуре АТ, не известны в верхнем силуре и нижнем девоне Урала”* [28, р. 332], отмечая, как и выше, что южная часть АТ, будучи в допалеозое океанской островной дугой, не примыкала непосредственно к кратону. Отсутствие фаций Древнего Красного Песчаника на Урале указывает, что этот район лежал слишком далеко на восток. Восточная пассивная окраина Балтики была вне пределов обломочного потока, проградирующего с формирующихся каледонид в позднем силуре–раннем девоне [45]. Как отмечается ниже, слои Древнего Красного Песчаника являются диагностическим мегамаркером, отмечающим области, затронутые каледонским орогенезом вдоль южных окраин Уральского морского пути (рис. 2).

Мы согласны с высказыванием: *“...лудловские рифовые постройки очень похожи на Урале и южном АТ и также присутствуют на Салаире в Сибири”* [29, р. 328], но многие исследования доказали, что каждое лудловское рифовое сообщество Аляски и России имеет литологические и палеонтологические отличия [1–5, 20, 23, 91, 93]. Это свидетельствует о том, что в пределах единого океанского бассейна, который способствовал личиноч-

ному обмену, рифы развились независимо. Трудно поддержать также следующее утверждение *“Мы полагаем, что наибольшее сходство силурийско-девонских фаун северо-восточной России (особенно Колымской области) так же, как сходство стратиграфии, больше указывают на происхождение АТ в последнем регионе”* [28, р. 328]. Как показали современные исследования, провинциальные сходства фоссилий АТ являются самыми сильными с Балтикой и самыми слабыми с ОТ (табл. 1, 2), стратиграфические разрезы АТ и ОТ имеют существенные отличия (рис. 1), а микробиальные рифы и фации Древнего Красного Песчаника, характерные для АТ, не развиты на ОТ.

Самое важное состоит в том, что модель [28] не объясняет ни бедность сообществ дна на АТ, ни причину, по которой во время этого ограниченно временного интервала (лудлова) доминировали микробиальные, а не метазойные таксоны в рифах южного АТ, ФТ, на Салаире и Урале и больше нигде в мире (включая ОТ). Кроме того, их модель не объясняет, как такие своеобразные лудловские рифы могли развиваться в таких различных тектонических обстановках (островные дуги АТ, ФТ и Восточного Урала, окраина Сибири, Уральская пассивная окраина Балтики и Салаир – либо как пассивная окраина Сибири, либо как микроконтинент) и все же содержать значительную пропорцию совместных видов.

Мы объясняем отсутствие большинства метазой в рифах как отражение аномальных морских условий, которые существовали в обширном морском бассейне и способствовали росту необычных биогенных каркасов. Стрессовые обстановки, возможно, определялись колебаниями температуры, солености, содержанием кислорода морской воды. К тому же, чрезмерное содержание питательных веществ, связанных с мощным поступлением обломочного материала, возможно, обуславливали “расцвет” цианобактериальных сообществ [2, 94, 96]. Кроме того, такие необычные рифы существовали в течение короткого времени, когда каледонский орогенез (скандинавская фаза) достиг своей кульминации в лудлове. Это предполагает четкую связь между тектоническими, экологическими и эволюционными событиями, имеющими место только в одной конкретной части земного шара – вдоль Уральского морского пути.

В позднем силуре Уральский морской путь был приэкваториальным узким морским коридором, южный край которого затронут орогенезом [36, 55]. Чтобы проверить гипотезу, что микробиально-афросальпингид-фистулелловые рифы были “индикаторами” аномальных условий в Уральском морском пути в позднем силуре, были предприняты исследования на одновозрастных отложениях известняков в Гоби-Алтае и террейне Манделуу (Mandaloo) в Монголии. Террейн в палеозое был также располо-

жен в Северном полушарии в пределах  $35^\circ$  палеоэкватора, но вне восточного края Уральского морского пути [54, 68, 95]. Оба района исследований включают почти непрерывную палеозойскую последовательность слабо деформированных вулканических и осадочных пород, сформировавших субтропическо-тропический островодужно-задуговой комплекс [68, 95]. Хорошо сохранившиеся фоссилии мелководно-и глубоководноморских обстановок отражают рост и расширение карбонатной платформы, обрамляющей острова. В верхней части разреза представлены известково-глинистые турбидиты, накапливавшиеся вдоль глубоководного склона.

Одновозрастные породы, исследованные в Монголии, сформировались в обстановках, сходных с теми, которые были в АТ (т.е. в спектре от мелководных до глубоководных морских условий с распространением известняков, в тектонически активных обстановках). Все же при этом кальцимикробы не преобладают в рифах или сообществах дна, в области Гоби-Алтая отсутствуют специфические микробиальные ассоциации, афросальпингиды и фистулеллы. Это подтверждает нашу гипотезу, что только вдоль Уральского морского пути существовали необычные условия, вызвавшие развитие своеобразных микробиальных рифов в позднем силуре [2, 19, 23, 72, 95].

Такие условия, продолжали существовать и позднее в течение миллионов лет на участках вдоль Уральского морского пути, не засыпанного обломочным потоком каледонид в позднем силуре–раннем девоне как это было на АТ. В частности, микробиально-доминируемые рифы, связанные во многих областях с проблематическими гидроидами *Fistulella*, сохранялись в раннем девоне вдоль западного склона Урала и на островных вулканических дугах [22], которые позже будут аккрецированы при формировании восточного склона Урала и Восточноуральского микроконтинента [16]. Длительное существование массивных биогенных сооружений со строматолитоподобной структурой, нетипичной для большинства палеозойских рифов, является доказательством распространения необычных обстановок в пределах Уральского морского пути в течение продолжительного времени [2].

### Модель Уральского морского пути для АТ

Табл. 3 показывает самые важные геологические свидетельства, имеющиеся в настоящее время для уточнения палеогеографического положения АТ в позднем силуре–раннем девоне. Наша модель соответствует данным с наименьшим количеством конфликтов и объясняет также геологические связи АТ с другими областями. Из-за некоторой неоднозначности мнений о палеошироте и географической ориентации Сибири и Салаира, как отмечено выше, мы представляем две модели для позднесилурийско-

раннедевонской палеогеографии АТ. Ни одна модель не включает аккрецию Восточного Урала, т.к. о распространенности специфических лудловских таксонов из этого региона известно меньше всего. К тому же предкаменноугольное местоположение некоторых островодужных террейнов, причленившихся к восточному краю Балтики во время уральской орогении, все еще обсуждается. Заметим также, что другие террейны, такие как Северный Сьерра–Восточный Кламас (*Northern Sierra–Eastern Klamath*), показывают некоторое сходство с АТ в геологии и фауне. Однако обсуждение их палеогеографии вне области этой статьи, поскольку там отсутствует большинство (табл. 1, 2) упоминаемых ключевых силурийско-девонских биот [37, 38, 51, 57]. Тем не менее, мы вправе ожидать, что однажды более высокое качество палеомагнитных и других геологических данных, приемлемых для Сибири, Салаира и других тектонических элементов, которые принадлежали или ограничивали края Уральского морского пути, позволят усовершенствовать наши модели (рис. 2).

### АТ и Лаврентия–Балтика

В наших палеогеографических реконструкциях, согласно палеомагнитным данным [25, 30], положение АТ показано в пределах  $14 \pm 4^\circ$  экватора (рис. 2, табл. 3). Размещение вдоль южного края Уральского морского пути, в непосредственной близости к соединению северной Гренландии и западной Балтики обосновывается доказательствами вовлечения АТ в скандинавскую фазу каледонского орогенеза. К ним относятся: наличие обломочных цирконов в формации Кархин, возраст которых соответствует возрасту магматических пород в северных каледонидах, и возраст слюды по  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , совпадающий с возрастом Древнего Красного Песчаника [38]. К доказательствам также относится одновременность существования клакасской орогенической фазы [48, 49] и мощного накопления подобных Древнему Красному Песчанику отложений Хекета и Кархин формаций [94].

Кроме того, возраст обломочных цирконов из девонского песчаника и время деформации в северном АТ позволяет предполагать, что террейн Св. Элиаса (северный АТ) и террейн Крэйг (южный АТ) были соединены вблизи северных каледонид во время позднесилурийско–аннедевонской клакасской орогении [27, 38, 104]. Эта позиция соответствует наибольшему сходству силурийско-девонских фаун АТ с Уралом, ФТ и Салаиром (звезды на рис. 2 указывают положение лудловских микробиально-губково-гидроидных рифов) и в меньшей степени – с Лаврентией и ОТ. Такое провинциальное родство подразумевает Уральский морской путь как морской коридор, который способствовал трансмиграции между удаленными участками (табл. 3).

**Таблица 3.** Сравнение данных, используемых для реконструкции позднесилурийско-раннедевонской палеогеографии АТ, ФТ, САЛ и ОТ.

	АТ	ФТ	САЛ	ОТ
Базовая геология:				
пассивная континентальная окраина		×	×	×
островная дуга	×		× (до силура)	
Фаации, подобные Древнему Красному Песчанику	×			
Детритовые цирконы:				
протерозойские	зап. Балтика	Сибирская платформа	нет данных	нет данных
позднесилурийские-раннедевонские	зап. Балтика/ сев. каледониды	нет данных	нет данных	нет данных
Палеошироты (поздний силур-ранний девон):				
палеомагнитные данные	14° ± 4°	нет данных	23–30° N	13° ± 9°
палеонтологические данные	<30°	<30°	5–20°	20–30°N
Микробиально-губково-гидроидные рифы (лудлов)	×	×	×	
Сходство фаун	БАЛТ, ФТ, ЛАВР, САЛ, ВУТ, (СИБ)	СИБ, АТ, БАЛТ, ОТ, ЛАВР	БАЛТ, СИБ, АТ, ВУТ	ФТ, СИБ, (АТ)

Примечание. Сокращения и ссылки перечислены в примечании к табл. 1.

### АТ, ФТ и Салаир

ФТ юго-западной Аляски представляет фрагмент континентальной окраины, которой наиболее вероятно была сибирская. Это отвечает сходству раннепалеозойских фаун с Сибирью, Лаврентией, террейнами Арктической Аляски–Чукотки и ОТ [28, 29, 42, 102]. Даже при том, что его среднепалеозойские палеошироты еще только должны быть установлены по палеомагнитным данным, ФТ, с учетом формирования мощных карбонатных отложений и обилия теплопроводных индикаторов, наиболее вероятно должен быть расположен в пределах 30° экватора. На ФТ отсутствуют фаации, подобные Древнему Красному Песчанику, но имеется лудловская рифовая биота, общая с биотами АТ, Салаира и Урала. Поэтому ФТ следует поместить вдоль Уральского морского пути, где-нибудь между Сибирью и Лаврентией [37, 38], но вне влияния каледонского орогенеза в позднем силуре–раннем девоне (табл. 3). Как обсуждается ниже, возможно ФТ был “переходной позицией” между АТ и ОТ, что объясняет сходство фаун, которое ФТ имеет с обоими террейнами (рис. 2).

На Салаире, лудловская биота, включающая микробиально-губково-гидроидные рифы, подобна уральским, АТ и ФТ [3, 5, 23, 28]. Это указывает на то, что Салаир должен был граничить или существовать в пределах Уральского морского пути на участке, который способствовал обмену биотами с областями, имеющими подобные морские условия в позднем силуре. Салаир – или как независимый микроконтинент (рис. 2А), или как часть юго-западной Сибири (рис. 2Б) – был наиболее вероятно расположен относительно близко к восточной Балтике, о чем свидетельствуют общие черты с уральской фауной [3, 5, 9, 10, 13, 17,

21, 23, 109]. Это местоположение вне фронта каледонид также согласуется с отсутствием на Салаире фааций, подобных Древнему Красному Песчанику (табл. 3).

### АТ и ОТ

ОТ, являющийся фрагментом северо-восточного края Сибири, оставался вблизи нее в качестве террейна в течение большей части геологической истории [63, 101]. Согласно палеомагнитным и палеонтологическим данным, ОТ располагался в среднем палеозое в пределах 20–30° палеоэкватора [66, 101]. Провинциальные сходства некоторых биот (табл. 3) указывают на то, что ОТ должен был располагаться в некоторой близости к ФТ и другим кордильерским террейнам [28, 37, 42]. Однако на ОТ не установлены лудловские микробиально-губково-гидроидные рифы [6, 28] и фаации Древнего Красного Песчаника [11, 42, 63, 101] – табл. 3. Таким образом, ОТ должен был располагаться в пределах или вне Уральского морского пути, в области, где отсутствовали аномальные морские условия, способствующие интенсивному росту микробиальных рифов, и влияние каледонского орогенеза в позднем силуре (рис. 2).

То, что ОТ и АТ имеют некоторые сходные силурийские брахиоподы и девонские кораллы, но повсеместно отличающуюся фауну [29], может быть объяснено случайным рассеиванием питающихся планктоном личинок (или, реже, плавающих взрослых) мигрирующими поверхностными и приповерхностными потоками и “миграционным островом” [88]. ФТ, возможно, служила важным “перевалочным пунктом” между АТ и ОТ, облегчая переселение биот между ФТ и ОТ и затем – с АТ (и наоборот). В конце концов, мы отмечаем,

что любую из наших палеогеографических моделей можно легко согласовать в случае обнаружения в будущем на ОТ лудловских микробиально-губково-?гидроидных рифов, подобных уральским, салаирским, АТ и ФТ. Все же, исходя из имеющихся на сегодня данных и персональных сообщений российских геологов из Магадана, Якутска, Новосибирска, Москвы, Санкт-Петербурга и др., имеющих информацию об этом регионе, и недавних публикаций [6, 11], это маловероятно.

Однако, если бы такое открытие было строго задокументировано, оно позволило бы нам поправить палеогеографические модели (рис. 2), переместив ОТ южнее, в пределы Уральского морского пути. Идентификация участка (участков), который обладает самым большим числом общих с ОТ таксонов, обеспечит более точное размещение этого континентального фрагмента относительно Сибири, Лаврентии и Балтики до аккреции ОТ к северо-восточной России в мезозое. Все же отсутствие на ОТ фаций, подобных Древнему Красному песчанику определяет положение этого террейна по отношению к континентальной окраине за пределами фронта каледонид и, таким образом, на некотором расстоянии от АТ.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Верхнекембрийско-среднеордовикские мафические вулканические породы группы Донджек (Donjek), включающие самые древние слои террейна Александра в горах Св. Элиаса северо-западной Канады, представлены тремя геохимическими типами: промежуточный базальт (тип I), обогащенные легкими редкоземельными элементами островодужные толеиты, переходящие в известково-щелочные базальты (тип II), и обогащенные базальты срединноокеанических хребтов, переходящие в базальты океанических островов (тип III). Согласно петрогенетическим моделям базальты были образованы в результате декомпрессионного частичного плавления обогащенной астеносферной мантии, непостоянно смешанной с деплетированной мантией и компонентами, связанными с субдукцией [26]. Спайдерграммы свидетельствуют о развитии островодужных вулканитов наряду с другими (в частности, принадлежавшими срединно-океаническим хребтам и океаническим островам). В целом, геохимические свидетельства присутствия надсубдукционных вулканитов подтверждают наличие в АТ комплексов островной дуги. Итак, наряду с петрологическими данными, исследования изотопов Nd и Sr доказывают образование АТ в протерозое–раннем палеозое как островной дуги, а не как континентального фрагмента, отколовшегося от Восточной Сибири в середине позднего палеозоя, как предлагают Р. Блэджет с соавторами [28].

Мы показали, что стратиграфия силурийско-нижнедевонских отложений АТ и ОТ существенно различается. Кроме того, данные по силурийско-девонским фаунам для АТ показывают самые сильные провинциальные сходства с Балтикой, ФТ, Салаиром и островодужными террейнами Восточного Урала, а не с ОТ. Таким образом, утверждение, что силурийско-девонская стратиграфия и фауна АТ имеет близкое сходство с ОТ северо-восточной России, не соответствует действительности.

Предлагаемые нами две палеогеографические реконструкции основаны на большом геологическом материале, позволяющем ограничить местоположение АТ в раннем–среднем палеозое в северном полушарии вдоль Уральского морского пути. Доказательства этого следующие: 1. Протерозойско-раннепалеозойские обломочные цирконы показывают связь АТ с Балтикой. 2. Доордовикские и позднесилурийско-раннедевонские горообразовательные события совпадают по времени и характеру деформаций с событиями в западной Балтике. 3. Палеомагнитные данные указывают низкие палеошироты Северного полушария в раннем девоне. 4. Верхнесилурийско-нижнедевонская формация Кархин мощностью 1800 м подобна фациям Древнего Красного Песчаника. 5. Позднесилурийско-раннедевонские сообщества фауны, включая выразительные лудловские микробиально-губково-?гидроидные рифы, имеют провинциальное сходство прежде всего с одновозрастными сообществами Балтики, Салаира и ФТ. Эти рифы с преобладанием микробиальных, а не метазойных сообществ, служат индикаторами стрессовых обстановок, которые существовали вдоль Уральского морского пути в позднем силуре в течение кульминационных фаз каледонского орогенеза.

Необычные условия морского бассейна, должно быть, преобладали по всей обширной области, ограниченной Сибирью на севере и Лаврентией и Балтикой на юге. Организмы, которые могли приспособиться, расселялись и развивались в разных тектонических условиях вдоль морского пути, включая островные дуги (АТ и Восточный Урал), пассивную континентальную окраину (Западный Урал, Салаир?) и микроконтиненты (ФТ, Салаир?).

Вряд ли можно предполагать близкие пространственные связи ОТ с АТ, как утверждается в [28], так как на нем отсутствуют своеобразные верхнесилурийские рифы и фации, подобные мощным образованиям Древнего Красного Песчаника, связанные с каледонскими тектоническими событиями. Таким образом, ОТ должен был быть расположен в среднем палеозое в пределах или вне Уральского морского пути, в отдалении от областей, затронутых каледонским орогенезом. Чтобы объяснить сходство некоторых фаун между ОТ и ФТ (и в меньшей степени – с АТ), можно предположить, что ОТ располагался в области, позволявшей происходить

обмену некоторых фаун с ФТ и служившей “переходным мостом” к АТ.

Мы благодарны всем нижеупомянутым организациям за неоднократную поддержку исследованиям на Аляске, в России и Монголии за прошедшие три десятилетия: Национальному научному фонду США, Институту Геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар), Колгейтскому университету, геологическому консорциуму Кичк (Кеск), Службе военно-морского исследования, Смитсоновскому колледжу, геологическому обществу США и университету Штата Орегон. Мы благодарны Норману Севиджу (**Norman Savage**) за введение К. Соджи в геологию юго-восточной Аляски и многим коллегам и студентам Колгейтского университета, Смитсоновского колледжа, Кузбасской государственной педагогической академии (г. Новокузнецк) и Монгольскому университету науки и техники (г. Уланбатор), всем кто обеспечивал руководство и помощь во время полевых исследований. Мы признательны за полезные рекомендации Джоанн Нельсон при чтении первой версии, а также рецензенту данной статьи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антошкина А.И. Рифы в палеозое Печорского Урала. СПб: Наука, 1994. 154 с.
2. Антошкина А.И. Рифообразование в палеозое (на примере севера Урала и сопредельных территорий). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 303 с.
3. Антошкина А.И. Рифовая биота Урала и Салаира: палеобиогеографическое значение для среднего палеозоя. Научн. докл. Вып. 469. Сыктывкар, Коми НЦ УрО РАН, 2005. 27 с.
4. Антошкина А.И. Раннепалеозойское рифообразование на Севере Урала как пример его взаимосвязи с гео-биосферными изменениями // Рифогенные формации и рифы в эволюции биосферы. М.: ПИН РАН, 2011. С. 116–141.
5. Антошкина А.И., Гутак Я.М., Багмет Г.Н. и др. Новые данные по силурийским рифам Салаира, Западная Сибирь // Новости палеонтологии и стратиграфии. 2006. Т. 47, вып. 9. С. 21–29 (Приложение к журналу Геология и геофизика).
6. Баранов В.В. Рифообразование в среднем палеозое северо-востока Азии // Рифогенные формации и рифы в эволюции биосферы. М.: ПИН РАН, 2011. С. 142–154.
7. Беленицкая Г.А., Задорожная Н.М. Рифогенные и сульфатоносные формации фанерозоя СССР / Под ред. Н.М. Задорожной. М.: Недра, 1990. 291 с.
8. Буслов М.М., Фудживара И., Сафонова И.Ю. и др. Строение и эволюция зоны сочленения террейнов Рудного и Горного Алтая // Геология и геофизика. 2000. Т. 41, № 3. С. 383–397.
9. Гутак Я.М., Антошкина А.И., Багмет Г.Н. и др. Верхнесилурийские отложения Салаира (потаповская свита, номенклатурные вопросы) // Проблемы стратиграфии и региональной геологии Сибири. Новосибирск: Наука, 2006. С. 95–99.
10. Гутак Я.М., Савицкий В.Р., Абушик А.Ф. и др. Потаповская свита (верхний силур) Салаира (палеонтологическая характеристика) // Природа и экономика. Вып. 11. Новокузнецк: Куз ГПА, 2007. С. 61–63.
11. Жамойда А.И. Состояние изученности стратиграфии докембрия и фанерозоя: задачи дальнейших исследований // Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 38 / Составитель А.И. Жамойда. СПб: ВСЕГЕИ, 2008. 131 с.
12. Зоненшайн Л.В., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Наука, 1990. 327 с.
13. Кульков Н.П. Биостратиграфическое сопоставление силурийских отложений Горного Алтая и Салаира // Геология и геофизика. 1970. Т. 6. С. 72–79.
14. Николаев А.А. Верхояно-Чукотская геосинклинальная область // Стратиграфия СССР: Силурийская система. М.: Недра, 1965. С. 395–409.
15. Орадовская М.М. Биостратиграфия и фации ордовика-силура северо-востока СССР / Составитель М.М. Орадовская. Мин-во геол. СССР, СВ произв. геолог. объедин. М.: Недра, 1988. 176 с.
16. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
17. Тесаков Ю.И., Кульков Н.П. Фауна и биостратиграфия верхнего ордовика и силура Алтае-Саянской области // Тр. Ин-та геологии и геофизики. 1978. Т. 403. 150 с.
18. Шуйский В.П. Верхнесилурийский и нижнедевонский рифовые комплексы западного склона Урала // Вопросы экосистемного анализа. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. 83 с.
19. Antoshkina A.I. Organic buildups and reefs on the Palaeozoic carbonate platform margin, Pechora Urals, Russia // Sedimentary Geol. 1998. V. 118, Iss.1-4. P. 187–211.
20. Antoshkina A.I. Origin and evolution of Lower Paleozoic reefs in the Pechora Urals, Russia // Bull. Can. Petrol. Geol. 1999. V. 47. P. 85–103.
21. Antoshkina A.I. Late Silurian biota in the northeastern Salair: application to Silurian geography // Erlangen Geologische Abhandlungen Sonderband 5. Erlangen, 2004. P. 19–20.
22. Antoshkina A.I., Königshof P. Lower Devonian reef structures in Russia: an example from the Urals // Facies. 2008. V. 54. P. 233–251.
23. Antoshkina A.I., Soja C.M. Reef biota migration between Alaska, the Urals, and Salair allows Late Silurian reconstruction // GFF. 2006. V. 128. P. 75–78.
24. Baarli B.G., Johnson M.E., Antoshkina A.I. Silurian stratigraphy and paleogeography of Baltica // Silurian Lands and Seas: Paleogeography outside of Laurentia / E. Landing, M.E. Johnson (eds.). New York State Museum Bull. 2003. V. 493. P. 3–34.
25. Bazard D.R., Butler R.F., Gehrels G. et al. Early Devonian paleomagnetic data from the Lower Devonian Karheen Formation suggest Laurentia-Baltica connection for the Alexander terrane // Geology. 1995. V. 23. P. 707–710.
26. Beranek L.P., van Staal C., Gordeev S.M. et al. Tecto-

- nic significance of Upper Cambrian-Middle Ordovician mafic volcanic rocks on the Alexander terrane, Saint Elias Mountains, northwestern Canada // *J. Geol.* 2012. V. 120. P. 293–314.
27. *Beranek L.P., van Staal C., McClelland W.C. et al.* Crustal affinity of Late Cambrian-Early Ordovician rocks in the northern Alexander terrane, northwestern Canada // *Geo. Soc. Am.: Abstracts with Programs.* 2010. V. 42 (5). P. 574.
  28. *Blodgett R.B., Boucot A.J., Rohr D.M. et al.* The Alexander terrane of Alaska – a displaced fragment of Northeast Russia? Evidence from Silurian-Middle Devonian megafossils and stratigraphy // *Memoirs of Assoc. Australasian Palaeont.* 2010. V. 39. P. 323–339.
  29. *Blodgett R.B., Rohr D.M., Boucot A.J.* Paleozoic links among some Alaskan accreted terranes and Siberia based on megafossils // *Geol. Soc. Am. Spec. Paper.* 2002. V. 360. P. 273–290.
  30. *Butler R.F., Gehrels G.E., Bazard D.R.* Paleomagnetism of Paleozoic strata of the Alexander terrane, southeastern Alaska // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1997. V. 109. P. 1372–1388.
  31. *Churkin M. Jr., Carter C.* Early Silurian graptolites from southeastern Alaska and their correlation with graptolitic sequences in North American and the Arctic // *U.S. Geol. Surv. Professional Paper.* 1970. No. 653. 51 p.
  32. *Churkin M. Jr., Carter C., Eberlein G.D.* Graptolite succession across the Ordovician-Silurian boundary in south-eastern Alaska // *Geol. Soc. London: Quarterly J.*, 1971. V. 126, Pt. 3. P. 319–330.
  33. *Clough J.G., Blodgett R.B.* Silurian-Devonian algal reef mound complex of southwest Alaska // *Reefs Canada and Adjacent Areas* / H.H.J. Geldsetzer, N.P. James, G.E. Tebbutt (eds.). Canadian Soc. of Petroleum Geologists Memoir. 1989. V. 13. P. 404–407.
  34. *Cocks L.R.M., Torsvik T.H.* Baltica from the late Precambrian to mid-Palaeozoic times: the gain and loss of a terrane's identity // *Earth-Science Reviews.* 2005. V. 72. P. 39–66.
  35. *Cocks L.R.M., Torsvik T.H.* Siberia, the wandering northern terrane, and its changing geography through the Palaeozoic // *Earth-Science Reviews.* 2007. V. 82. P. 29–74.
  36. *Cocks L.R.M., Torsvik T.H.* The Palaeozoic geography of Laurentia and western Laurussia: A stable craton with mobile margins // *Earth-Science Reviews.* 2011. V. 106. P. 1–51.
  37. *Colpron M., Nelson J.L.* A Palaeozoic Northwest Passage: incursion of Caledonian, Baltican and Siberian terranes into eastern Panthalassa, and the early evolution of the North American Cordillera // *Earth Accretionary Systems in Space and Time* / P.A. Cawood, A. Kroner (eds.). *Geol. Soc. London: Special Publications*, 2009. V. 318. P. 273–307.
  38. *Colpron M., Nelson J.L.* A Palaeozoic NW Passage and the Timanian, Caledonian and Uralian connections of some exotic terranes in the North American Cordillera. Chapter 31 // *Arctic Petroleum Geology* / A.M. Spencer, A.F. Embry, D.L. Gautier et al. (eds.) *Geol. Soc. London: Memoirs*, 2011. V. 35. P. 463–484.
  39. *Colpron M., Nelson J.L., Murphy D.C.* Northern Cordilleran terranes and their interactions through time // *GSA Today.* 2007. V. 17. P. 4–10.
  40. *Dobretsov N.L., Buslov M.M.* Late Cambrian-Ordovician tectonics and geodynamics of Central Asia // *Russian Geology and Geophysics.* 2007. V. 48. P. 71–82.
  41. *Dobretsov N.L., Buslov M.M., Yu U.* Fragments of oceanic islands in accretion–collision areas of Gornyy Altai and Salair, southern Siberia, Russia: early stages of continental crustal growth of the Siberian continent in Vendian-Early Cambrian time // *J. Asian Earth Sciences.* 2004. V. 23 P. 673–690.
  42. *Dumoulin J.A., Harris A.G., Gagiev M. et al.* Lithostratigraphic, conodont, and other faunal links between lower Paleozoic strata in northern and central Alaska and northeastern Russia // *Geol. Soc. Am. Spec. Paper.* 2002. V. 360. P. 291–312.
  43. *Eberlein G.D., Churkin M. Jr.* Paleozoic stratigraphy in the northwest coastal area of Prince of Wales Island, southeastern Alaska // *U.S. Geol. Surv. Bull.* 1970. V. 1284. 67 p.
  44. *Eberlein G.D., Churkin M. Jr., Carter C. et al.* Geology of the Craig quadrangle, Alaska // *U.S. Geol. Surv. Open-File Report.* 1983. P. 83–91.
  45. *Gee D.G., Fossen H., Henriksen N. et al.* From the Early Paleozoic platforms of Baltica and Laurentia to the Caledonide Orogen of Scandinavia and Greenland // *Episodes.* 2008. V. 31. P. 44–51.
  46. *Gehrels G.E., Butler R.F., Bazard D.R.* Detrital zircon geochronology of the Alexander terrane, southeastern Alaska // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1996. V. 108. P. 722–734.
  47. *Gehrels G.E., Saleeby J.B.* Geology of southern Prince of Wales Island, southeastern Alaska // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1987. V. 98. P. 123–137.
  48. *Gehrels G.E., Saleeby J.B.* Geologic framework, tectonic evolution, and displacement history of the Alexander terrane // *Tectonics.* 1987. V. 6. P. 151–174.
  49. *Gehrels G.E., Saleeby J.B., Berg H.C.* Preliminary description of the Klakas orogeny in the southern Alexander terrane, southeastern Alaska // *Pre-Jurassic Rocks in Western North American Suspect Terranes.* Los Angeles, CA, Pacific Section / C.H. Stevens (ed.). *Soc. Economic Paleontol. Mineral.* 1983. P. 131–141.
  50. *Golonka J.* Plate-tectonic maps of the Phanerozoic // *Phanerozoic Reef Patterns* / W. Kiessling, E. Flügel, J. Golonka (eds.). *SEPM, Spec. Publ.* 2002. V. 72. P. 21–75.
  51. *Grove M., Gehrels G.E., Cotkin S.J. et al.* Non-Laurentian cratonic provenance of Late Ordovician eastern Klamath blueschists and a link to the Alexander terrane // *Ophiolites, Arcs, and Batholiths: A Tribute to Cliff Hopson* / J.E. Wright, J.W. Shervais (eds.). *Geol. Soc. Am. Spec. Paper.* 2008. V. 438. P. 223–250.
  52. *Kheraskova T.N., Didenko A.N., Bush V.A. et al.* The Vendian-Early Paleozoic history of the continental margin of eastern Paleogondwana, Paleasian Ocean, and central Asian foldbelt // *Russian Journal of Earth Sciences.* 2003. V. 5 (3). P. 165–184.
  53. *Kindle E.M.* Notes on the Paleozoic faunas and stratigraphy of southeastern Alaska // *J. Geol.* 1907. V. 15. P. 314–337.
  54. *Lamb M.A., Badarch G.* Paleozoic sedimentary basins and volcanic-arc systems of southern Mongolia: New stratigraphic and sedimentologic constraints // *Intern. Geology Review.* 1997. V. 39. P. 542–576.
  55. *Lawver L.A., Gahagan L.M., Norton I.* Palaeogeographic and tectonic evolution of the Arctic region during the Palaeozoic. Chapt. 5 // *Arctic Petroleum Geology* /



- A.M. Spencer, A.F. Embry, D.L. Gautier et al. (eds.). Geol. Soc. London: Memoirs, 2011. V. 35. P. 61–77.
56. *Lawver L.A., Grantz A., Gahagan L.M.* Plate kinematic evolution of the present Arctic Region since the Ordovician // Tectonic Evolution of the Bering Shelf-Chukchi Sea-Arctic Margin and Adjacent Landmasses / E.L. Miller, A. Grantz, S.L. Klemperer (eds.). Geol. Soc. Am. Spec. Papers. 2002. V. 360. P. 333–358.
  57. *Lindsley-Griffin N., Griffin J.R., Farmer J.D.* Paleogeographic significance of Ediacaran cyclomedusoids within the Antelope Mountain Quartzite, Yreka subterrane, eastern Klamath Mountains, California // The Terrane Puzzle: New Perspectives on Paleontology and Stratigraphy from the North American Cordillera / R.B. Blodgett, G.D. Stanley Jr. (eds.). Geol. Soc. Am. Spec. Paper. 2008. V. 442. P. 1–37.
  58. *McKerrow W.S., Scotese C.R.* (eds.). Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography // Geol. Soc. London: Memoir, 1990. V. 12. 28 p.
  59. *Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Kazansky A.Y.* Siberia – from Rodinia to Eurasia. // InTech. <http://www.intechopen.com/articles/show/title/siberia-from-rodinia-to-eurasia>. 2011.
  60. *Metelkin D.V., Vernikovskiy V.A., Kazansky A.Y. et al.* Paleozoic history of the Kara microcontinent and its relation to Siberia and Baltica: Paleomagnetism, paleogeography and tectonics // Tectonophysics. 2005. V. 398. P. 225–243.
  61. *Miller E.L., Kuznetsov N., Soboleva A. et al.* Baltica in the Cordillera? // Geology. 2011. V. 39. P. 791–794.
  62. *Newton C.R.* Significance of “Tethyan” fossils in the American Cordillera // Science. 1988. V. 242. P. 385–391.
  63. *Nokleberg W.J., Parfenov L.M., Monger J.W.H. et al.* Phanerozoic Tectonic Evolution of the Circum-North Pacific // U.S. Geological Survey Open-File Report. 1998. P. 98–754.
  64. *Nokleberg W.J., Parfenov L.M., Monger J.W.H. et al.* Phanerozoic Tectonic Evolution of the Circum-North Pacific // U.S. Geol. Surv. Profess. Paper. 2000. V. 1626. 122 p.
  65. *Ovenshine A.T., Webster G.D.* Age and stratigraphy of the Heceta limestone in northern Sea Otter Sound, southeastern Alaska // U.S. Geol. Surv. Profess. Paper. 1970. P. 170–174.
  66. *Pedder A.E.H.* Zoogeographic data from studies of Paleozoic corals of the Alexander terrane, southeastern Alaska and British Columbia // Paleogeography of western North America: Constraints on Latitudinal Displacements / J. Haggart, R. Enkin, J. Monger (eds.). Geol. Ass. Canada Spec. Paper. 2006. V. 46. P. 29–57.
  67. *Pedder A.E.H., Oliver W.A. Jr.* Rugose coral distribution as a test of Devonian palaeogeographic models // Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography / W.S. McKerrow, C.R. Scotese (eds.). Geol. Soc. Mem. 1990. V. 12. P. 267–275.
  68. *Pellegrini A.F.A., Soja C.M., Chuluun M.* Post-tectonic limitations on Early Devonian (Emsian) reef development in the Gobi-Altai region, Mongolia // Lethaia. 2012. V. 45. № 12. P. 46–61.
  69. *Pisarevsky S.A., Murphy J.B., Cawood P.A. et al.* Late Neoproterozoic and Early Cambrian palaeogeography: Models and problems // West Gondwana: Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic Region / R.J. Pankhurst, R.A.J. Trouw, B.B. Brito Neves, M.J. de Wit (eds.). Geol. Soc. London: Spec. Publ., 2008. V. 294. P. 9–31.
  70. *Puchkov V.N.* Uralides and Timanides: Their structural relationship and position in the geologic history of the Ural-Mongolian fold belt // Russian Geology and Geophysics. 2003. V. 44 (1-2). P. 28–39.
  71. *Riding R., Soja C.M.* Silurian calcareous algae, cyanobacteria, and micro-problematica from the Alexander terrane, Alaska // J. Paleontol. 1993. V. 63. P. 710–728.
  72. *Rigby J.K., Nitecki M.H., Soja C.M. et al.* Silurian aphanospingid sphinctozoans from Alaska and Russia // Acta Palaeontologica Polonica. 1994. V. 39. P. 341–391.
  73. *Samson S.D., McClelland W.C., Patchett P.J. et al.* Evidence from neodymium isotopes for mantle contributions to Phanerozoic crustal genesis in the Canadian Cordillera // Nature. 1989. V. 337. P. 705–709.
  74. *Samson S.D., Patchett P.J., Gehrels G.E. et al.* Nd and Sr isotopic characterization of the Wrangellia terrane and implications for crustal growth of the Canadian Cordillera // J. Geology. 1990. V. 98. P. 749–762.
  75. *Savage N.M.* Early Devonian conodonts from Kasaan Island, southeastern Alaska // J. Paleontol. 1981. V. 55. P. 848–853.
  76. *Savage N.M.* Silurian (Llandovery-Wenlock) conodonts from the base of the Heceta Limestone, southeastern Alaska // Can. J. Earth Sciences. 1985. V. 22. P. 711–727.
  77. *Savage N.M.* Paleozoic faunal affinities of the Alexander terrane, SE Alaska // Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs. 1990. V. 22. P. 321.
  78. *Smethurst M.A., Khramov A.N., Torsvik T.H.* The Neoproterozoic and Palaeozoic palaeomagnetic data for the Siberian Platform: From Rodinia to Pangea // Earth-Science Reviews. 1998. V. 43. P. 1–24.
  79. *Soja C.M.* Paleontologic, Paleocologic, and Sedimentologic Studies of Lower Devonian Facies, Kasaan and Wadleigh Islands, Southeastern Alaska. Unpublished Ph. D. thesis / University of Oregon, Eugene. 1985. 666 p.
  80. *Soja C.M.* Lower Devonian (Emsian) brachiopods from southeastern Alaska // U.S.A. Palaeontographica. Series A. 1988. V. 201. P. 129–193.
  81. *Soja C.M.* Early Devonian benthic communities of the Alexander terrane, southeastern Alaska // Lethaia. 1988. V. 21. P. 319–338.
  82. *Soja C.M.* Island arc carbonates from the Silurian Heceta Formation of southeastern Alaska (Alexander terrane) // J. Sedimentary Petrology. 1990. V. 60. P. 235–249.
  83. *Soja C.M.* Origin of Silurian reefs in the Alexander terrane of southeastern Alaska // Palaios. 1991. V. 6. P. 111–125.
  84. *Soja C.M.* Silurian trace fossils in carbonate turbidites from the Alexander arc of southeastern Alaska // Ichnos. 1991. V. 1. P. 173–181.
  85. *Soja C.M.* Potential contributions of ancient oceanic islands to evolutionary theory // J. Geology. 1992. V. 100. P. 125–134.
  86. *Soja C.M.* Carbonate platform evolution in a Silurian oceanic island: a case study from Alaska’s Alexander terrane // J. Sedimentary Petrology. 1993. V. 63. P. 1078–1088.
  87. *Soja C.M.* Significance of Silurian stromatolite-sphinctozoan reefs // Geology. 1994. V. 22. P. 355–358.
  88. *Soja C.M.* Island-arc carbonates: characterization and

- recognition in the ancient geologic record // *Earth-Science Reviews*. 1996. V. 41. P. 31–65.
89. *Soja C.M.* Silurian-bearing terranes of Alaska // The terrane puzzle: New perspectives on paleontology and stratigraphy from the North American Cordillera / R.B. Blodgett, G.D. Stanley Jr. (eds.). *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*. 2008. V. 442. P. 39–50.
  90. *Soja C.M., Antoshkina A.I.* Paleobiogeographic implications of Silurian subtidal stromatolites in southeastern Alaska (Alexander terrane) and the Urals // *Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs*. 1996. V. 28 (5). P. 113.
  91. *Soja C.M., Antoshkina A.I.* Coeval development of Silurian stromatolite reefs in Alaska and the Ural Mountains: implications for paleogeography of the Alexander terrane // *Geology*. 1997. V. 25. P. 539–542.
  92. *Soja C.M., Antoshkina A.I.* Paleobiogeography of Silurian stromatolites confirms northern hemisphere option for Alaska's Alexander terrane in the early-mid Paleozoic // *Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs*. 1997. V. 29 (5). P. 66.
  93. *Soja C.M., Antoshkina A.I.* Reply to a Comment on "Coeval development of Silurian stromatolite reefs in Alaska and the Ural Mountains: implications for paleogeography of the Alexander terrane" // *Geology*. 1998. V. 26. P. 383–384.
  94. *Soja C.M., Krutikov L.* Provenance, depositional setting, and tectonic implications of Silurian polymictic conglomerates in Alaska's Alexander terrane // The terrane puzzle: New perspectives on paleontology and stratigraphy from the North American Cordillera / R.B. Blodgett, G.D. Stanley Jr. (eds.). *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*. 2008. V. 442. P. 63–75.
  95. *Soja C.M., Minjin C., Myrow P. et al.* Paleozoic paleoenvironmental reconstruction of the Gobi-Altai terrane, Mongolia / A.P. de Wet, L. Heister (eds.). *Keck Geology Consortium. Proceedings of the 23<sup>rd</sup> Annual Keck Research Symposium in Geology*. 2010. P. 182–199.
  96. *Soja C.M., Mitchell M., Newton A.J. et al.* Paleocology of sponge-?hydroid associations in Silurian microbial reefs // *Palaios*. 2003. V. 18. P. 225–235.
  97. *Soja C.M., Riding R.* Silurian microbial communities from the Alexander terrane, Alaska // *J. Paleontol.* 1993. V. 63. P. 728–738.
  98. *Soja C.M., White B., Antoshkina A. et al.* Development and decline of a Silurian stromatolite reef complex, Glacier Bay National Park, Alaska // *Palaios*. 2000. V. 15. P. 273–292.
  99. *Sønderholm M., Harland T.L.* Franklinian reef belt, Silurian, North Greenland // *Reefs, Canada and Adjacent Areas* / H.H.J. Geldsetzer, N.P. James, G.E. Tebbutt (eds.). *Can. Soc. Petroleum Geol. Mem.* 1989. V. 13. P. 356–366.
  100. *Spencer A.M., Embry A.F., Gautier D.L. et al.* (eds.). *Arctic Petroleum Geology* // *Geol. Soc. London: Memoirs*, 2011. V. 35.
  101. *Stone D.B., Minyuk P., Kolosev E.* New paleomagnetic paleolatitudes for the Omulevka terrane of northeast Russia: a comparison with the Omolon terrane and the eastern Siberian platform // *Tectonophysics*. 2003. V. 377. P. 55–82.
  102. *Till A.B.* Paleogeographic reconstruction of the Arctic Alaska-Chukotka terrane based on zircon and paleontologic data from Seward Peninsula // *Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs*. 2010. V. 42 (5). P. 573.
  103. *Trettin H.P., Mayr U., Long G.D.F. et al.* Cambrian to Early Devonian basin development, sedimentation, and volcanism, Arctic Islands // *Geology of the Innuitian Orogen and Arctic Platform of Canada and Greenland* / H.P. Trettin (ed.). *Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs*. 1991. V. E, № 3. P. 165–238.
  104. *Van Staal C.R.* New data and ideas on the Paleozoic-Triassic evolution of the Insular Superterrane of the North American Cordillera // *Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs*. 2010. V. 42 (5). P. 574.
  105. *Veselovsky R.V., Gallet Y., Pavlov V.E.* Paleomagnetism of traps in the Podkamennaya Tunguska and Kotui River valleys: Implications for the post-Paleozoic relative movements of the Siberian and East European platforms // *Izvestiya Physics of the Solid Earth*. 2003. V. 39 (10). P. 856–871.
  106. *Witzke B.J., Heckel P.H.* Paleoclimatic indicators and inferred Devonian paleolatitudes of Euramerica // *Devonian of the World. Proceedings of the Second International Symposium on the Devonian System, V. I* / N.J. McMillan, A.F. Embry, D.J. Glass (eds.) / *Can. Soc. Petroleum Geologists Memoir*. 1988. V. 14. P. 49–63.
  107. *Wright J.E., Wyld S.J.* Gondwanan, Iapetan, Cordilleran interactions: A geodynamic model for the Paleozoic tectonic evolution of the North American Cordillera // *Paleogeography of Western North America: Constraints on Latitudinal Displacements* / J. Haggart, R. Enkin, J. Monger (eds.). *Geol. Ass. Can. Spec. Paper*. 2006. V. 46. P. 377–408.
  108. *Yolkin E.A.* Silurian-Devonian trilobite evolution and depositional cyclicity in the Altai-Salair region, western Siberia // *Silurian Cycles: Linkages of Dynamic Stratigraphy with Atmospheric, Oceanic, and Tectonic Changes. James Hall Centennial Volume* / E. Landing, M.E. Johnson (eds.) // *New York State Museum Bull.* 1998. V. 491. P. 215–226.
  109. *Yolkin E.A., Sennikov N.V., Bakharev N.K. et al.* Silurian paleogeography along the southwest margin of the Siberian continent: Altai-Sayan folded area // *Silurian Lands and Seas: Paleogeography Outside of Laurentia* / E. Landing, M.E. Johnson (eds.). *New York State Museum Bull.* 2003. V. 493. P. 299–321.
  110. *Yolkin E.A., Sennikov N.V., Bakharev N.K. et al.* Devonian sequences of Salair, Rudny & Gorny Altai: Field Excursion Guidebook. International Conference on "Devonian Terrestrial and Marine Environments: From Continent to Shelf" (IGCP 499 Project / SDS Joint Field Meeting). Novosibirsk: Geo, 2005. 82 p.
  111. *Ziegler P.A.* Laurussia – the Old Red continent // *Devonian of the World. Proceedings of the Second International Symposium on the Devonian System, V. I* / N.J. McMillan, A.F. Embry, D.J. Glass (eds.) // *Can. Soc. of Petroleum Geologists Memoir*. 1988. V. 14. P. 15–48.

Рецензент В.Н. Пучков

## **The Alexander terrane of the North American Cordillera: A critical analysis of Silurian-Devonian paleogeography**

**C. M. Soja\*, A. I. Antoshkina\*\***

*\*Department of Geology, Colgate University*

*\*\*Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of RAS*

The model offering a new interpretation of the origin of Alexander terrane (AT) (Alaska and northern Canada), which advanced in 2010 by R. Blodgett with coauthors is refuted in the article. That model is based on a review of some Silurian and Devonian fossils and formations, which the authors infer to be similar to those of the Omulevskii terrane (OT) of northeast Russia. In addition, they postulate that similarities between the Mirninskaya Suite of the Omulevsk Mountains in northeastern Russia and the Karheen Formation in the AT support the contention that the AT originated as a broke away “tectonic block” derived from eastern Siberia in the Late Devonian–Early Carboniferous. We show that in mentioned review were omitted very important published data, more detailed, up-to-date evidence about the geologic history of the AT, Silurian–Devonian stratigraphic relationships, and faunal affinities. Together those data refute Blodgett et al.’s model; instead we support the long-standing model that the AT originated as an island arc, which in the mid-Paleozoic was located within the Uralian Seaway in proximity to Laurentia, Baltica, and Siberia.

Keywords: *the Alexander terrane, fossils, formations, geologic history, Paleozoic.*