

УДК 552.24

СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ДРЕВНИХ И СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНО-СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ СИСТЕМ

© Н.П. Чамов^{1,*}, С.Ю. Соколов¹, Р.Г. Гарецкий², И.С. Патина¹

¹Геологический институт РАН, 119017 Москва, Пыжевский пер., д. 7

²Институт природопользования НАН Беларуси, 220114 Минск ул. Скорины, д.10;

*e-mail: nchamov@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.07.2018 г.; после исправления 25.01.2019 г.; принята в печать 28.01.2019 г.

Рассмотрены соотношения размеров и пространственного положения древних и современных областей реализации геодинамических процессов (тектоно-седиментационных систем) и результирующих геологических тел. Установлено, что независимо от ранга и геодинамической принадлежности тектоно-седиментационных систем всех уровней – от локального до надрегионального – реализация геологических процессов протекает по пути наименьших энергетических затрат. В современной структуре Атлантико-Арктической рифтовой системы эта тенденция выражена в развитии сдвигов по принципу максимального спрямления трансферных зон между сегментами. В перспективе она же будет определять проградацию рифтовой системы через Евразийскую платформенную область.

Ключевые слова: земная кора, Атлантико-Арктическая рифтовая система, рифтогенез, геодинамика, седиментация

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016-853X2019342-60>

ВВЕДЕНИЕ

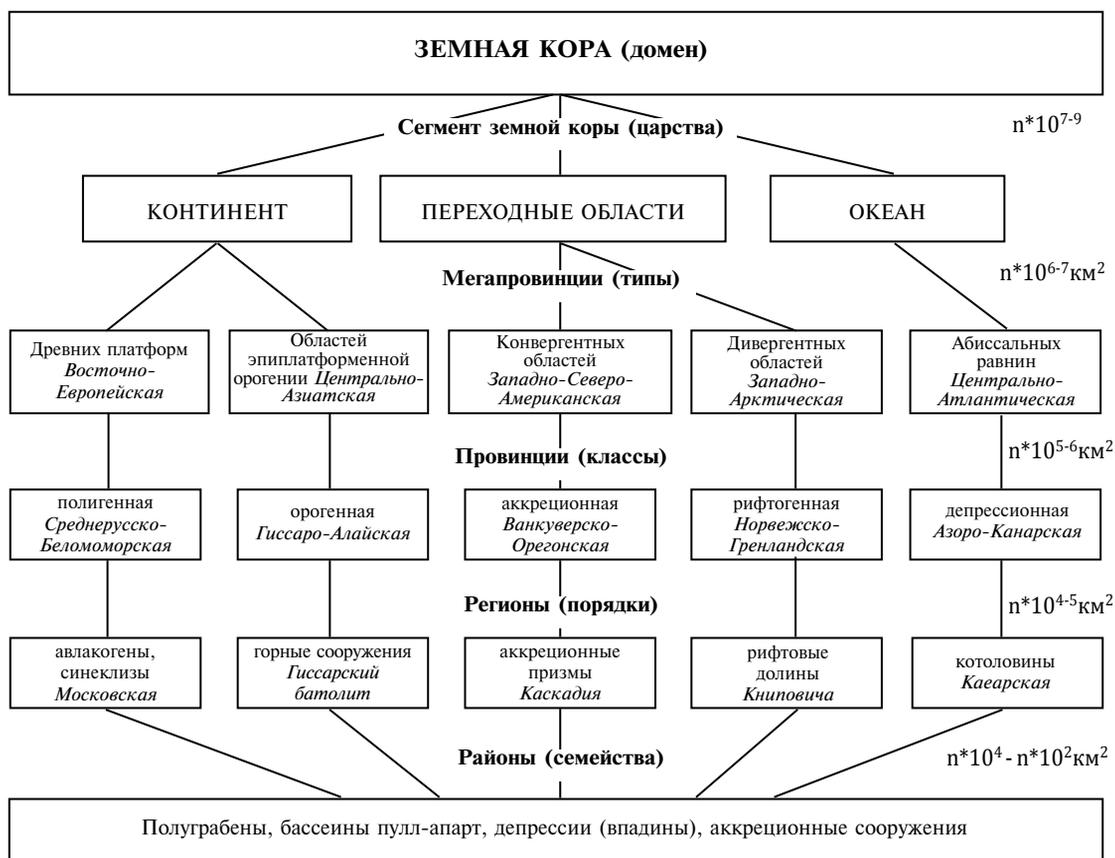
Земная кора как совокупность консолидированного основания и вулканогенно-осадочного чехла является чрезвычайно неоднородным образованием, изменчивым не только в разрезе и на площади, но и во времени. В широком смысле это крупнейшая тектоно-седиментационная система планеты (домен), образованная и меняющаяся под влиянием ряда геологических и космологических факторов. По мере развития геологических знаний и инструментальных возможностей представления об элементах земной коры и подходы к их картированию неоднократно менялись [1–5, 8, 10, 13, 17, 27, 28, 45]. Традиционная разрозненность тектонических и литологических исследований привела к существенной неопределенности в принципах районирования, картирования и оценки промышленного потенциала земной коры.

Авторы статьи полагают, что масштабы картируемых структурно-вещественных комплексов и их положение в разрезе земной коры пропорциональны рангам тектоно-седиментационных систем. Структурно-вещественные комплексы локальных систем ограничены уровнем верхней коры. Крупные тектоно-седиментационные системы, объединяющие разные уровни земной коры, представляют собой единую систему, все части которой – вулканогенно-осадочный чехол, фундамент, кора – находятся во взаимодействии и между ними происходит обмен энергией, водой и флюидами. Кроме того,

большое значение имеет (например, при рифтогенезе) тектонофизическая деятельность астеносферного слоя, когда к земной коре подходит сильно нагретая аномальная астеносферная мантия, образуя поднятие. Вызванное нагревом снижение вязкости приводит к течению в нижней коре, а сложная картина деформаций и напряжений во всех вышележащих слоях определяет появление поверхностных форм рельефа, от которых зависит профиль эрозионно-седиментационного равновесия системы. В результате процессов формирования и преобразования тектоно-седиментационных систем, в том числе за счет изостатического выравнивания, происходит перераспределение и преобразование вещества, накопление разных видов твердых полезных ископаемых, залежей углеводородов, которые сосредоточены не только в осадочном чехле, но и в породах фундамента.

Основы такого подхода изложены нами в [17] и являются развитием представлений А.А. Богданова, Ю.А. Косыгина, Л.И. Красного [2, 3, 14–16]. С этих позиций определены характерные типы и пространственные размеры разномасштабных составляющих элементов домена и предложена их систематика. При составлении данной систематики учитывался ряд условий: (1) независимость систематики от тектонических парадигм, (2) возможность картирования по конкретным критериям и проверяемость результатов, (3) применимость к структурным элементам и вещественным комплексам, разви-

Таблица. Схема соотношения тектоно-седиментационных систем разных рангов.



тым на коре любого геодинамического типа, 4) возможность использования для сопоставления современных и древних тектонических областей.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

По аналогии с таксономическими категориями, принятыми в биологии, тектоно-седиментационные системы рассматриваются как соподчиненные элементы (таксоны) в едином пространстве земной коры. Схема не претендует на обобщение всех современных и древних тектоно-седиментационных систем, что является предметом самостоятельного исследования, однако она дает представление о принципах систематики и характеризует некоторые опорные элементы объекта исследования.

Наиболее крупным таксоном планетарного уровня (доменом), включающим в себя все остальные подразделения, является земная кора как совокупность современных и ископаемых, в т.ч. глубоко метаморфизованных, вулканогенно-осадочных образований. Земная кора разделяется на сегменты (царства) – тектонические области, которые по специфике современного строения и геодинамического режима своего развития, относятся к континентам, переходным от континентов к океанам областям и океанам. Площади сегментов значительно варьируют от $n \times 10^7$ км²

в подвижных поясах до $n \times 10^{8-9}$ км² в океанах. Примечательно, что величины площадей обратно пропорциональны мощности земной коры, которая достигает 70 км в орогенных областях и уменьшается до 0–10 км в океанах.

Составными элементами сегментов являются мегапровинции (типы). В соответствии с геодинамической специализацией сегмента, различаются мегапровинции платформенных и орогенных областей, континентальных окраин, океанических структур (см. таблицу).

Мегапровинции состоят из тектоно-седиментационных провинций (классов регионального уровня), представляющих собой композитные структурно-морфологические области на коре любого типа, все части которой имеют сходную геологическую историю, а вулканогенно-осадочный чехол объединяет все стратиграфические комплексы, накопившиеся в региональных и локальных формах рельефа на разных этапах развития данной области. В зависимости от задач исследования, в составе провинции можно выделить более мелкие подразделения – порядки или регионы, определяемые по пространственному распределению и положению стратиграфических комплексов, тектонических структур и форм поверхности.

Тектоно-седиментационные провинции состоят из ряда семейств – осадочных бассейнов: структурно-вещественных образований локального

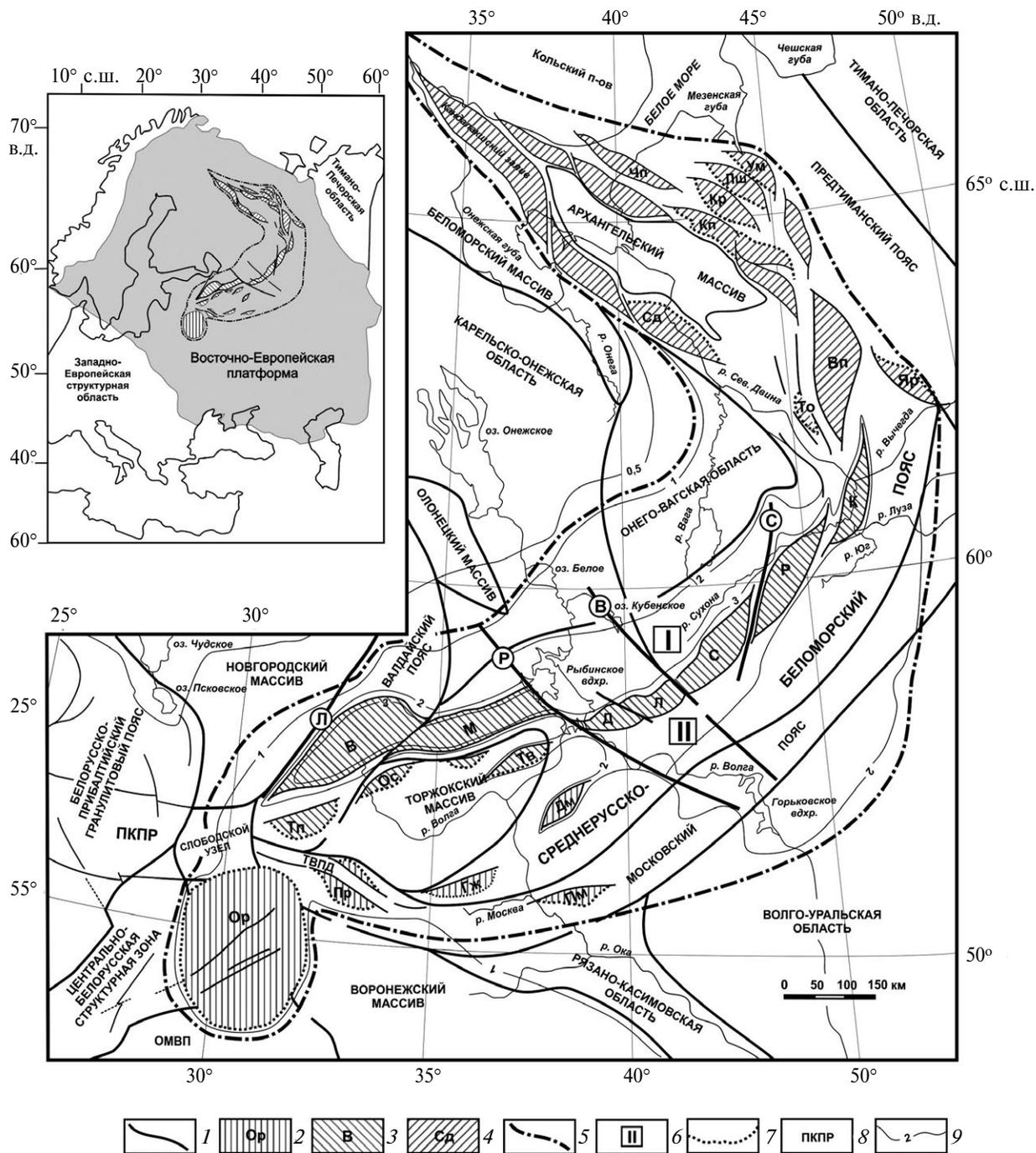


Рис. 1. Тектоно-седиментационные системы Среднерусско-Беломорской провинции.

Показано (врезка): положение тектоно-седиментационных систем провинции в структуре Восточно-Европейской платформы.

Показаны (буквы в кружках) разломы: Л – Ловатский, Р – Рыбинский, В – Вологодский, С – Сухонский.

1 – границы структурно-вещественных комплексов фундамента; 2–4 – доплитные осадочные бассейны: 2 – Оршанская впадина, 3 – Среднерусские: В – Валдайский, М – Молоковский, Тп – Торопецкий, Ос – Осташковский, Тв – Тверской, Д – Даниловский, Л – Любимский, С – Солигаличский, Р – Рослятинский, К – Котласский, Пр – Пречистенский, Гж – Гжатский, Пм – Подмосковский, Дм – Дмитровско-Ярославский; 4 – Беломорско-Пинежские: Яр – Яренский, Вп – Верхнепинежский, Сд – Северодвинский, То – Тоемский; 5 – границы распространения плитного комплекса (Московско-Мезенской области погружения); 6 – плитные полуграбены: I – Грязовецкий, II – Галичский; 7 – линии выклинивания осадочных комплексов; 8 – Полоцко-Курземский пояс разломов; 9 – современные изогипсы поверхности фундамента, км

уровня и разной генетической природы, особенности строения которых зависят от комбинации глобальных, региональных и локальных факторов. Тектоническая природа осадочных бассейнов может сильно варьировать не только в геодинамически разных областях, но и в пределах одного региона в течение единого тектонического этапа.

Генетическое разнообразие осадочных бассейнов при отсутствии четких критериев идентификации привело к значительной терминологической неопределенности. Кроме того, для практического оконтуривания бассейнов в реальной геологической среде существует необходимость вводить некоторые искусственные ограничения, связанные с возможностями сейсморазведки МОГТ. Так, эффективное использование данного метода возможно только в структурах с недеформированным или умеренно деформированным осадочным чехлом мощностью в депоцентре не менее 0.5 км [17].

Термин не охватывает все геологические образования, сформированные при тектоно-седиментационном взаимодействии. Примером служат осадочные комплексы аккреционных призм, развитые в областях наращивания земной коры и образования положительных форм рельефа. Процессы деформации и литогенетического преобразования осадочного чехла в передовых хребтах аккреционных призм не укладываются ни в какие классификации, использующие понятие “бассейнов”, хотя сами призмы являются промышленно значимыми и уверенно картируемыми тектоно-седиментационными системами с индивидуальными закономерностями развития.

Из-за переоценки роли осадочных бассейнов в строении тектоносферы их часто воспринимают как универсальные индикаторы геодинамических режимов. При этом исследователи, как правило, понимают, что площадь и объем земной коры, вовлеченные в реализацию крупных геодинамических процессов намного превосходит таковые, участвующие в строении отдельного бассейна. Каждый осадочный бассейн, как бы четко он ни был ограничен в пространстве, является элементом более сложной “надбассейновой” системы процессов и структур и подчиняется закономерностям ее развития.

ПРИМЕРЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ЛОКАЛЬНЫХ ТЕКТОНО-СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Среднерусско-Беломорская провинция

Среднерусско-Беломорская провинция расположена в пределах мегапровинции добайкальского заложения и охватывает территорию от Кандалакшского залива Белого моря до верховьев рек Волги, Днепра и Западной Двины. Площадь ее существенно менялась на разных этапах развития Восточно-Европейской платформы. Границы провинции проведены нами по контуру верхнебайкальского

структурно-вещественного комплекса Московско-Мезенской области погружения (рис. 1). По характеру строения консолидированной коры, ориентировке структур фундамента и пространственному положению основных неопротерозойских тектоно-седиментационных систем в составе провинции различаются три региона:

- юго-западный (Оршанский);
- центральный (Среднерусский);
- северо-восточный (Беломорско-Пинежский).

Современная структура провинции, сложившаяся в результате длительного развития в разных геодинамических обстановках, представлена двумя комплексами (этажами).

Нижний (доплитный или катаплатформенный) структурный комплекс. Нижний структурный комплекс объединяет тектоно-седиментационные системы, заключенные между протерозойскими метаморфическими породами цоколя платформы и верхневендскими осадочными отложениями плитного чехла. В поле отраженных волн на временных разрезах МОГТ нижней границе комплекса соответствует отражающий сейсмический горизонт Φ (акустический фундамент). Интервал разреза, залегающий выше горизонта Φ насыщен регионально, зонально и локально прослеживаемыми субгоризонтальными когерентными отражениями. Рисунок волнового поля у нижележащего интервала носит хаотичный характер с незакономерно расположенными отражающими элементами. Акустический фундамент приурочен к границе раздела контрастных по физическим свойствам породных комплексов – стратифицированных отложений осадочного чехла и сейсмически малоинформативных метаморфических пород акустического фундамента. С позиций геодинамики регионально прослеживаемый сейсмический горизонт Φ маркирует время затухания главной складчатости и наступление стабильного этапа в формировании земной коры.

Осадочные бассейны Среднерусского и Беломорско-Пинежского регионов образуют сложные структурно-породные ансамбли, в которых участвуют полуграбены, структуры типа пулл-апарт и переходные между ними формы (см. рис. 1). Следствием резкой асимметричности в строении большинства грабенов является значительная изменчивость мощностей отложений доплитного комплекса. Так, вблизи крутых бортов полуграбенов (близ поверхностей сместителей сбросов) отложения могут достигать мощности в 5–7 км, но полностью выклиниваются вкост простирания структуры на расстоянии 10–15 км. На этом фоне резко обособляется Оршанская впадина, не имеющая отчетливых тектонических ограничений и сходная с бассейнами погружения синеклизного типа.

Верхний (плитный или ортоплатформенный) структурный комплекс. Верхний структурный комплекс плащеобразно налегает на нижний и значительно превосходит его по площади рас-

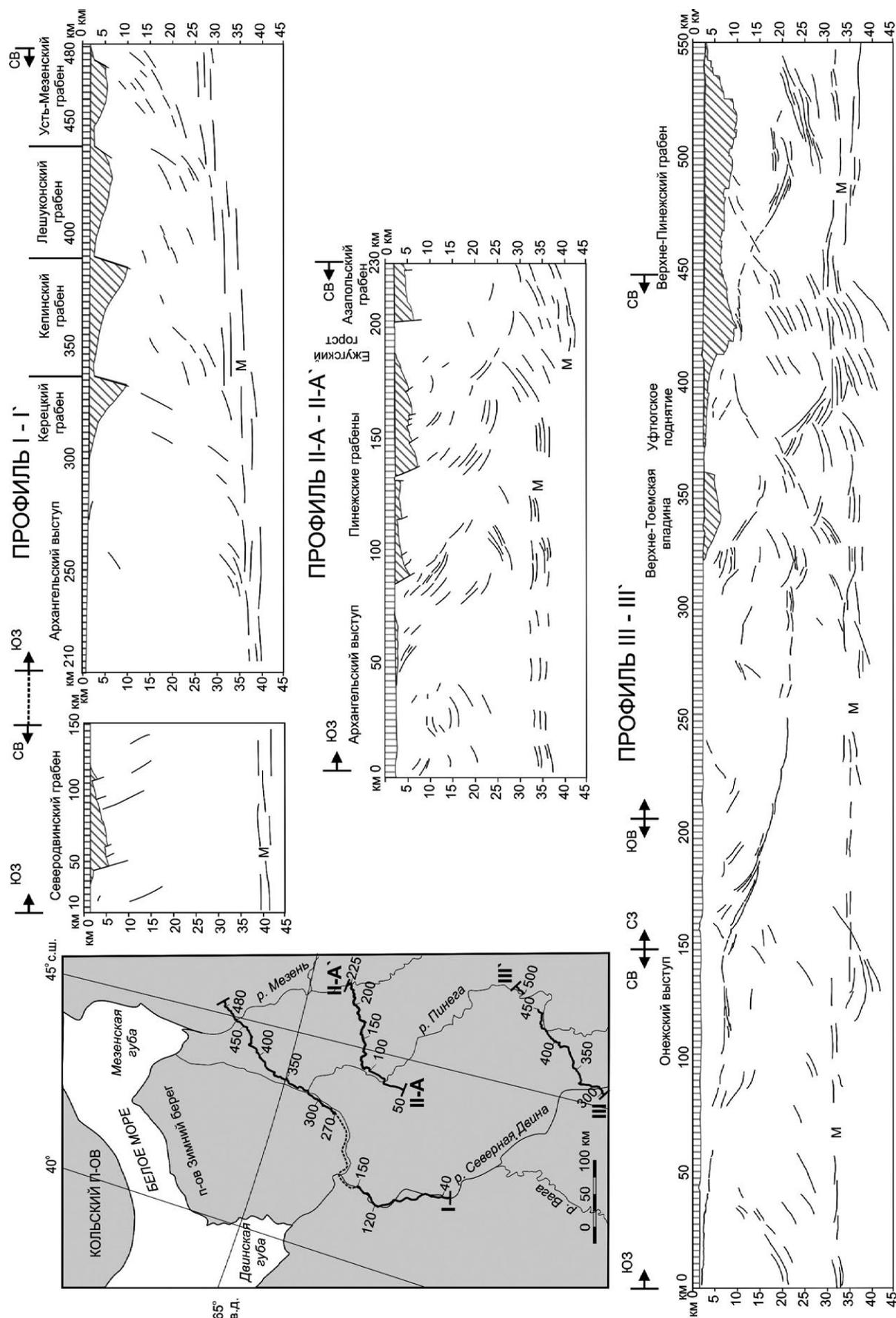


Рис. 2. Сейсмогеологические разрезы консолидированной коры Беломорско-Пинежского региона. 1 – плитный, 2 – доплитный. Северодвинский грабен приведен в проекции, нормальной к его простиранию

пространения (рис. 2). Подошвой плитному комплексу в пределах провинции служат преимущественно глинистые отложения редкинской свиты, накопившиеся в позднем венде в ходе позднебайкальского тектонического этапа.

В поле отраженных волн на временных разрезах МОГТ нижней границе соответствует либо отражающий сейсмический горизонт Ф, либо опорный отражающий горизонт Р, который приурочен к границе углового несогласия между доплитными и плитными отложениями. В геодинамическом смысле последние характеризуют соответственно ранние нестабильные и поздние стабильные геодинамические режимы развития платформы [5, 8]. Главными структурными формами являются пологие области погружения. Мощности комплекса меняются от 3–3.5 км в наиболее погруженных Галичском и Грязовецком прогибах до полного выклинивания на периферии провинции. Исключение составляют отложения северо-восточного фланга, имеющие преимущественно тектонические ограничения.

За исключением Оршанской впадины, характерной чертой провинции является ее дугообразность в плане: Беломорско-Пинежские грабены изначально практически ортогональны простиранию Среднерусского авлакогена. Наиболее резкая (около 90°) смена простираний наблюдается к югу от Онежского выступа Балтийского щита. В западном направлении авлакоген, плавно изгибаясь, приспосабливается к субширотной ориентировке Полоцко-Курземского пояса разломов [7].

Как в Среднерусском, так и в Беломорско-Пинежском регионах, доплитным структурам в плане соответствуют области распространения слабых мозаичных аномалий. Среднерусско-Беломорский пояс – область земной коры, к которой приурочены в плане рифтогенные структуры обоих регионов – выражен наиболее неотчетливо по сравнению с обрамляющими его структурно-вещественными комплексами фундамента.

Пониженные значения магнитной восприимчивости можно объяснить, связав образование Среднерусско-Беломорского пояса с распадом коллизионного орогена. Внутрикоровое плавление, возникающее после коллизии в утолщенной коре орогенного сооружения (коровом кряже), приводит к мигматизации тектонически совмещенных разнородных образований. При распаде корового кряжа декомпрессионное плавление приводит к формированию гранитоидных масс. Граниты или гранодиориты с плотностями около 2.9 г/см³, образованные на гипабиссальных глубинах в среде пород с более высокими плотностями, со временем будут перемещаться к верхним уровням коры в соответствии с законами изостазии.

Этому процессу способствуют внутрикоровые сдвиги, которые всегда сопутствуют, если не инициируют, распад орогенов. В ходе подъема гранитизированных масс формируются пласты бла-

стомилонитов по сдвиговым зонам (детachment). Следы реализации этих процессов широко проявлены в центральном и северо-восточном регионах.

Несмотря на пространственное совпадение структур провинции с поясом гранитизированной коры, время их формирования различно. Формирование detachmentов, связанное с заключительными фазами распада коллизионного орогена и выводом комплексов метаморфических ядер, датировано нами по времени закрытия U–Pb системы в сфенах из бластомилонитов и произошло 1750±10 млн лет назад [25]. Появление доплитных тектоно-седиментационных систем в пределах пояса началось только в неопротерозое (позднем рифее).

Наличие значительного (в объеме мезопротерозоя) перерыва, достаточного для остывания подвергшейся частичному постколлизонному плавлению коры, подтверждается данными сейсморазведки. Образы волнового поля свидетельствуют о том, что развитие структур провинции происходило в холодной хрупкой коре (см. рис. 2). Отражающие поверхности на сейсмограммах преимущественно пологие, что характерно для нижних частей листрических срывов. К верхним частям большинства из них тяготеют граничные сбросы грабенов. Серии наклонных площадок имеют разную вергентность, плотность и протяженность. Некоторые серии приурочены только к средней или нижней коре, другие проходят через всю кору. Наблюдаемый развал вергентностей нарушений является отражением “холодных” процессов, когда в ходе развития сдвиговой системы происходит смена полярности вектора напряжений и образуются разнонаправленные сбросы в хрупкой консолидированной коре.

Поверхность раздела кора-мантия – граничный пласт или опорный горизонт М – в Беломорско-Пинежском регионе уверенно регистрируется по отражающим площадкам, иногда образующим пакеты мощностью в первые километры. Осложнение строения граничного пласта, разрыв сплошности и появление ступеней наблюдаются в местах его пересечения сериями наклонных рефлекторов, восходящих к верхней коре. Ниже границы М регулярные отражающие элементы, в основном, не регистрируются. Изредка фиксируются узкие линейные круто наклоненные зоны концентрации динамически ярко выраженных отражений. Под доплитными бассейнами Среднерусского авлакогена консолидированная кора сейсмически более изотропна и не обнаруживает региональных отражающих горизонтов. Граница Мохорвичича условно намечается по пакетам отражений в пределах столбообразных зон повышенной отражаемости и составляет около 41–42 км.

Анализ материалов сейсморазведки МОГТ подтвердил обособленность Оршанской впадины от структур других регионов провинции как по образу волнового поля на временных профилях, так и по принадлежности к верхнему сейсмокомплекс-

су, пограничному между доплитными и плитными отложениями [25]. Напротив, Среднерусский и Беломорско-Пинежский регионы оказались вполне сопоставимы как по строению разреза доплитного осадочного чехла, так и по основным закономерностям строения консолидированной коры. Общими для регионов являются:

- отсутствие закономерного (обязательного) утонения консолидированной коры под осадочными бассейнами;

- сопоставимая интенсивность растяжения.

Два этих фактора свидетельствуют о родстве регионов. Локальные вариации строения коры и различия в структурной организации бассейнов обусловлены характером пространственного соотношения неопротерозойских нарушений и региональной структуры бластомилонитового пояса, составом и степенью переработки фундамента или сочетанием этих факторов. Структурные, литолого-фациальные и сейсмостратиграфические данные свидетельствуют о несомненной пространственно-временной связи в развитии систем растяжения Среднерусского и Беломорско-Пинежского регионов. Тектоно-седиментационные системы регионов не соответствуют в деталях структурному плану фундамента, но стратегически приурочены к единому Среднерусско-Беломорскому поясу, подковообразно обрамляющему Балтийский геоблок. Неопротерозойские нарушения, контролирующие формирование осадочных бассейнов, на глубине приспособляются к протяженным срывам, проникающим до поверхности М. Системы растяжения образуются комбинированными прогибами с сопоставимой интенсивностью растяжения, что свидетельствует о сходной энергонасыщенности процесса растяжения. Неопротерозойские осадочные комплексы выполнения бассейнов обнаруживают сходные литолого-фациальные, минералого-петрографические и палеоэкологические черты. Результаты микропалеонтологических исследований не доказывают присутствия в регионах осадочных комплексов древнее верхнерифейских. Существующие сейсмостратиграфические данные свидетельствуют о принадлежности осадочных комплексов катаплатформенного чехла единому структурному этажу. Главным при структурообразовании в обеих системах растяжения оставался принцип минимализации энергетических затрат: разломы в земной коре и связанные с ними бассейны приспособлялись к доступному пространству в пределах верхней хрупкой коры, ветвились, огибая крупные тектонические оторженцы (Архангельский и Торжокский массивы), но после исчезновения препятствий стремились занять положение вдоль оси генерального сдвига. Общая дискордантность осей прогибов и генеральной юго-западной ориентировки участков высокого положения поверхности М указывает на вторичность ее подъема по отношению к растяжению земной коры и представляется следствием спрям-

ления напряжений, определявших сдвиговые движения в коре. Тектоно-седиментационные системы обоих регионов формировались под влиянием механизма простого сдвига.

Перечисленные черты сходства позволяют рассматривать неопротерозойские тектоно-седиментационные системы Среднерусского и Беломорско-Пинежского регионов в качестве геодинамически сопряженных структурных элементов провинции – Среднерусско-Беломорской тектонопары. Развитие тектонопары происходило в ходе единого (но не одностадийного) геодинамического процесса, создавшего сходные по энергетике, но разноориентированные в смежных регионах поля напряжений. Как следствие, в разных частях тектонопары доминировали либо правосдвиговые (на северо-востоке) либо левосдвиговые (на юго-западе) смещения.

Среднерусский регион

Анализ современной структуры Среднерусского региона отражает резкую асимметричность в развитии тектоно-седиментационных систем плитного этапа его развития. Осью дисимметрии служит крупное поперечное нарушение – Рыбинский разлом, который не только нарушает линейность авлакогена, но и делит синеклизу на две резко асимметричные части (см. рис. 1). К западу от разлома наибольшие глубины залегания фундамента приурочены к относительно узкой полосе Валдайского и Молоковского грабенов. К востоку от разлома глубины в 2–3 км установлены на значительном (первые сотни км) удалении от грабенов авлакогена и маркируют обширные прогибы – южный Галицкий и северный Грязовецкий. Только к востоку от разлома в разрезе осадочного чехла вдоль оси авлакогена имеются участки с резким сокращением доплитных рифейских отложений на фоне возрастания мощностей плитных отложений верхнего венда. Очевидно, это связано со сменяющимися друг друга во времени восходящими и нисходящими движениями отдельных частей авлакогена, однако их избирательность и движущие механизмы не ясны. Кроме того, деформации плитного чехла, образующие протяженный Солигалицкий (Рыбинско-Бобровский) мегавал над грабенами авлакогена, установлены только в восточной части синеклизы.

Рассмотрим историю развития региона как долгоживущей тектоно-седиментационной системы, в которой положение авлакогена и, в дальнейшем, синеклизы были предопределены задолго до начала рифтогенных процессов в неопротерозе. Предшествовавшие им мигматизация, декомпрессионное плавление и динамометаморфизм при распаде коллизионного кряжа в палеопротерозе привели к формированию Среднерусско-Беломорского пояса относительно легкой и проницаемой коры, благоприятной для разви-

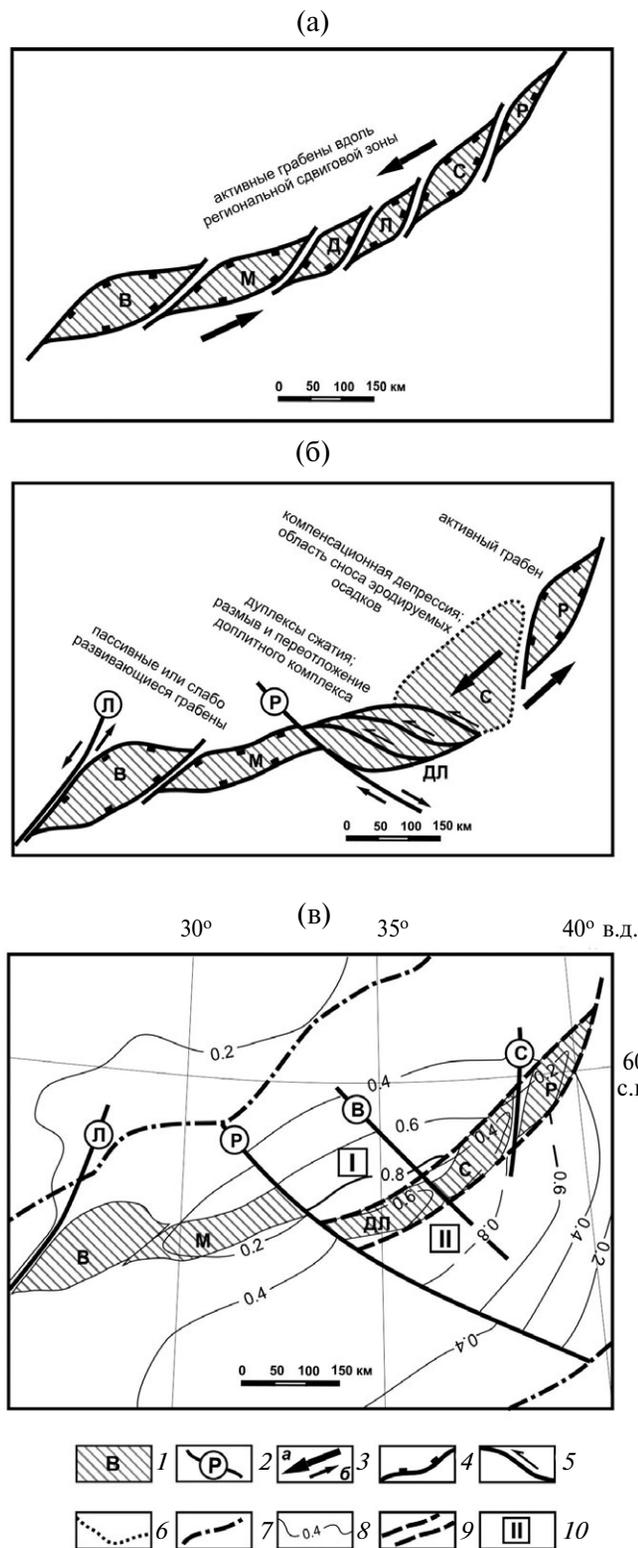


Рис. 3. Схема изменения тектоно-седиментационных обстановок на разных этапах развития авлакогена и синеклизы.

1 – осадочные бассейны авлакогена: В – Валдайский, М – Молоковский, ДЛ – Даниловско-Любимский, С – Солигаличский, Р – Рослятинский; 2 – региональные разломы: Л – Локновский, Р – Рыбинский, В – Вологодский, С – Сухонский; 3 – направление сдвигов: а – регионального, б – трансферных; 4 – сдвиго-сбросы; 5 – сдвиго-взбросы; 6 – область компенсационного проседания; 7 – контур синеклизы; 8 – стратоизогипсы подошвы плитного комплекса для конца венда; 9 – активизированные бортовые разломы авлакогена; 10 – вторичные полуграбены: I – Грязовецкий, II – Галичский

тия регионального сдвига. Заложение осадочных бассейнов Среднерусского региона произошло в неопротерозое, когда одновременно с региональным (магистральным) левосторонним сдвигом происходило развитие эшелонированных трещин растяжения и оформлялись структурные части грабенов вдоль общей линии роста авлакогена (рис. 3, а). Изменение структурного плана территории в переходный этап на границе доплитного и плитного этапов развития платформы привело к трансферному смещению изначально прямолинейной линии регионального сдвига и появлению на пути его распространения жесткого архейского массива (рис. 3, б). Закономерности появления областей сжатия и растяжения в связи с изгибом регионального сдвига достаточно подробно рассмотрены в геологической литературе [24, 41, 42, 44, 48]. В соответствии с этими закономерностями, правостороннее смещение по трансферному Рыбинскому разлому и появление жесткого препятствия на пути распространения магистрального левостороннего Среднерусского сдвига привело к появлению области интенсивного сжатия в Даниловско-Любимском сегменте авлакогена с сопутствующим выжиманием кверху блоков земной коры и полному или частичному размыву отложений доплитного комплекса. Сжатие земной коры в области изгиба сопровождалось заложением Солигаличской компенсационной депрессии, которая заполнялась выносимыми из области выжимания пролювиально-аллювиальными пестроцветными отложениями. Развитие грабенов Валдайско-Молоковско-го сегмента авлакогена в это время прекратилось из-за компенсации регионального сдвига за счет Рыбинско-Вологодских (Даниловско-Любимских) дуплексов сжатия.

На плитном этапе существование сквозькорового трансферного нарушения сыграло определяющую роль в формировании структурного плана растущей синеклизы. Режим релаксации на платформе привел к заложению по Рыбинской трансформе крупного сброса, резко дискордантного оси авлакогена (см. рис. 3, в). Прогрессивное погружение сброшенного крыла (Грязовецко-Галичского полуграбена) было осложнено наличием ортогональной сбросу структурно-вещественной неоднородности – цепочки сегментов авлакогена. Отставание в скорости погружения этих anomalно легких по сравнению с окружающей рамой фрагментов коры авлакогена привело к появлению и развитию обращенных форм в плитном чехле

и разделению Грязовецко-Галичского полуграбена на две изолированные друг от друга вторичные структуры. Данный механизм работал на протяжении всей истории прогибания Московской синеклизы. Каждый этап погружения приводил к нарушению изостатического равновесия в пределах коридора аномально легкой коры. Следующее за этим всплывание сегментов авлакогена приводило к росту Солигаличского мегавала.

Районы Среднерусского авлакогена

В ходе развития магистрального левосторонне-го сдвига в Среднерусском регионе локальные неоднородности фундамента определили его реакцию на приложение региональных тектонических напряжений и привели к образованию генетически родственных, но структурно-обособленных осадочных бассейнов. При общем сходстве процессов, определенных региональным полем напряжений, каждый из грабенов являлся самостоятельной тектоно-седиментационной системой, что отражено в индивидуальных фациальных чертах и минералого-петрографическом составе выполняющих его осадочных комплексов.

Вариациями локальных условий растяжения обусловлено формирование двух принципиально различных структурно-фациальных типов грабенов. Преобладают широкие (десятки – первые сотни км) и относительно мелкие (не глубже 3.5 км) грабены, в разрезах которых отчетливо выражена регрессивная смена осадочных фаций – от сероцветных отложений глубоководных озер к аллювиально-пролювиальным субаэральным красноцветам (молоковский тип). К другому (рослятинскому) типу относятся известные только на северо-восточном фланге авлакогена узкие (первые 10 км) и глубокие (5 км и, возможно, более) грабены, разрезы которых представлены чередованием фаций глубоководных (сероцветы) и мелководных (пестроцветы) озер.

Влияние локальных тектонических процессов, определивших индивидуальный характер развития каждого отдельного грабена Среднерусского авлакогена, наиболее ярко проявилось в неодновременном и разном по характеру и интенсивности появлении специфической кластики в их осадочных разрезах. На фоне стабильного состава кластогенного каркаса терригенных отложений молоковской серии неопротерозоя установлены интервалы осадочного разреза мощностью от десятков до первых тысяч метров, в которых тяжелая фракция песчаников резко обогащена (35–95%) остроугольными зернами эпидота [25].

Общая закономерность распределения обломочного эпидота внутри аномального интервала сводится к появлению снизу вверх по разрезу значимых его концентраций в составе тяжелой фракции, достижению максимальных значений и постепенному их снижению. Наиболее часто в разрезах выделяется один обогащенный эпидо-

том интервал, однако в Рослятинской скважине, глубина которой составляет более 4.5 км, выделяются минимум три таких интервала. Положение “эпидотовых интервалов” в осадочных разрезах грабенов можно разделить на три типа (по названию одноименных грабенов): молоковский – интервалы расположены вблизи фундамента, бобровский – интервалы удалены от фундамента на десятки и сотни метров и рослятинский – интервал соответствует всему осадочному разрезу или большей его части.

Ряд признаков (относительная нестойкость эпидота в зоне гипергенеза, неокатанность и свежий облик обломков, отсутствие связи между привнесением эпидота и содержанием основных породообразующих компонентов) свидетельствует о формировании эпидотовых аномалий за счет локальных источников. Сопоставление кристаллов и зерен эпидота из бластомилонитов и осадков показало, что они имеют сходный габитус, размеры, оптические характеристики и содержат 25–30% пистацитового компонента, что характерно для вторичного эпидота, образующего псевдоморфозы по биотиту и амфиболу в условиях частичного плавления. Анализ возможных геодинамических механизмов развития Среднерусского авлакогена, структуры образующих его грабенов, строения и состава верхней части консолидированной коры позволил предположить, что источником специфической кластики являлись обогащенные эпидотом бластомилониты, присутствующие среди метаморфических пород фундамента в виде аномальных по петро-геофизическим свойствам пластов. Сложенные бластомилонитами аномальные пласты рассматриваются нами как реликты породных ассоциаций зон срыва (детачментов), сформированных на границе тектонических пластин. Как следует из изотопного возраста бластомилонитов, процессы эти имели место в палеопротерозое и относятся к тектонической предистории становления Среднерусского авлакогена. К моменту заложения в неопротерозое грабенов авлакогена, в течение значительного интервала геологического времени в объеме мезопротерозоя, палеопротерозойские постколлизийные процессы полностью завершились, и внутренняя структура фундамента, вероятно, осложненная также и более поздними локальными деформациями, была полностью сформирована.

Закономерности положения в осадочном разрезе обогащенных эпидотом интервалов можно объяснить соотношением элементов залегания сместителей неопротерозойских сбросов и палеопротерозойских бластомилонитовых пластов. Молоковский тип интервалов, отражающий поступление в осадки эпидота вслед за образованием грабена и его прекращение во времени, формируется при изначально пологом приповерхностном залегании бластомилонитового пласта (рис. 4, а). Сброшенная часть пласта становится днищем грабена, другая – выводится в область эрозии

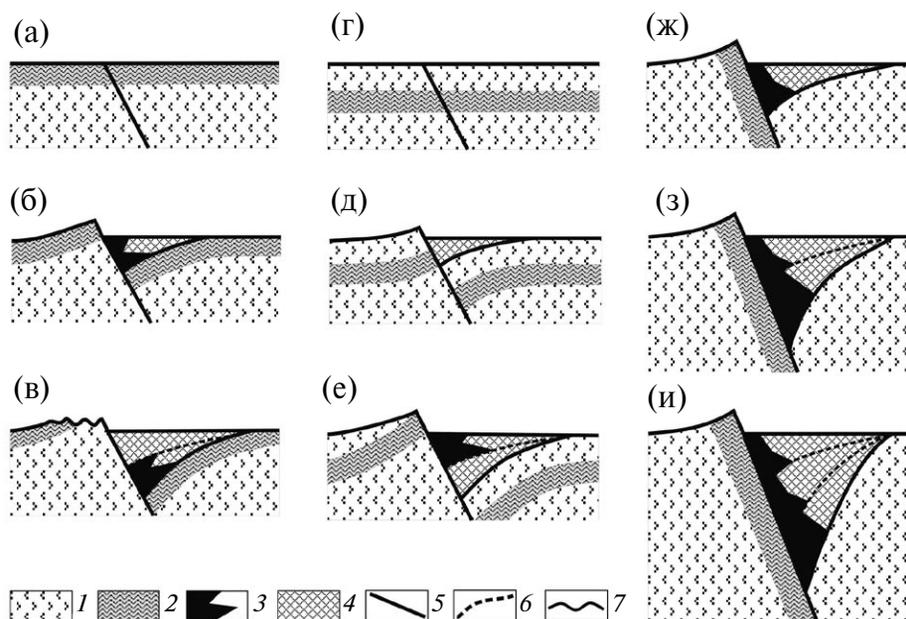


Рис. 4. Модели формирования грабенов и соответствующие типы интервалов с повышенным содержанием эпидота: молоковский (а–в), бобровский (г–е), рослятинский (ж–и).

Обозначены: 1–2 – фундамент: 1 – амфиболиты и мигматиты, 2 – бластомилониты с кристаллическим эпидотом; 3 – обломочный эпидот из бластомилонитов в тяжелой фракции песчаников; 4 – аркозовые осадки из внешнего источника; 5 – сбросы; 6 – промежуточные поверхности дна грабена; 7 – эрозионные границы

в результате изостатического воздымания лежачего плеча (см. рис. 4, б). Последующее развитие грабена приводит к захоронению погруженной части пласта, дальнейшему воздыманию лежачего плеча, прогрессивной эрозии и выходу верхнего фрагмента бластомилонитового пласта из области влияния на растущий грабен (см. рис. 4, в).

Бобровский тип интервалов, характеризующийся поступлением эпидота из локального источника на поздних стадиях развития грабена, обусловлен заглубленным положением бластомилонитового пласта к моменту заложения сброса (см. рис. 4, г). В этом случае в основании грабена залегают породы верхней пластины (амфиболиты и плагиоклазиты). Последующее углубление грабена сопровождается его компенсацией осадками без обогащения продуктами разрушения бластомилонитового пласта (см. рис. 4, д), влияние которого проявляется на поздних стадиях роста грабена (см. рис. 4, е).

Рослятинский тип интервалов, где обогащение эпидотом характерно для всей осадочной толщи, формируется в случае крутого залегания бластомилонитового пласта и развития сброса по его падению (см. рис. 4, ж–и). Углубление бассейна при сопутствующем воздымании лежачего плеча не только не приводит к изоляции бластомилонитового пласта, а, напротив, постоянно стимулирует интенсивное поступление эпидота из этого локального источника.

Соотношения элементов залегания сместителей неопротерозойских сбросов и палеопротерозойских бластомилонитовых пластов определяли и тектоно-

сидиментационное развитие осадочных бассейнов. При секущих сбросах, особенно в случаях пологого залегания бластомилонитовых пластов, формировались грабены с реологически обусловленным пределом погружения (молоковский тип). Здесь погружение пород гранитоидного состава в более плотный амфиболитовый субстрат ограничивалось силами изостатического выравнивания. При неизменном региональном поле напряжений после достижения предела погружения грабены этого типа испытывали латеральное расширение, что приводило к накоплению регрессивных осадочных последовательностей с необратимым переходом от озерных к аллювиально-пролювиальным отложениям. Для этого типа грабенов характерно одноактное проявление локального источника кластики независимо от стадии развития структуры. Энергетически более выгодное развитие сбросов вдоль бластомилонитовых пластов (рослятинский тип) не нарушало изостатического равновесия и приводило к образованию узких глубоких грабенов, в которых обстановки седиментации радикально не изменялись со временем. Поступление эпидота продолжалось на протяжении всего существования пространства аккомодации, поскольку прогрессивное углубление грабена постоянно стимулировало активность его локального источника.

НАДРЕГИОНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

К данному типу тектоно-сидиментационных систем относятся мегапровинции – крупные составляющие сегментов земной коры (см. табл.).

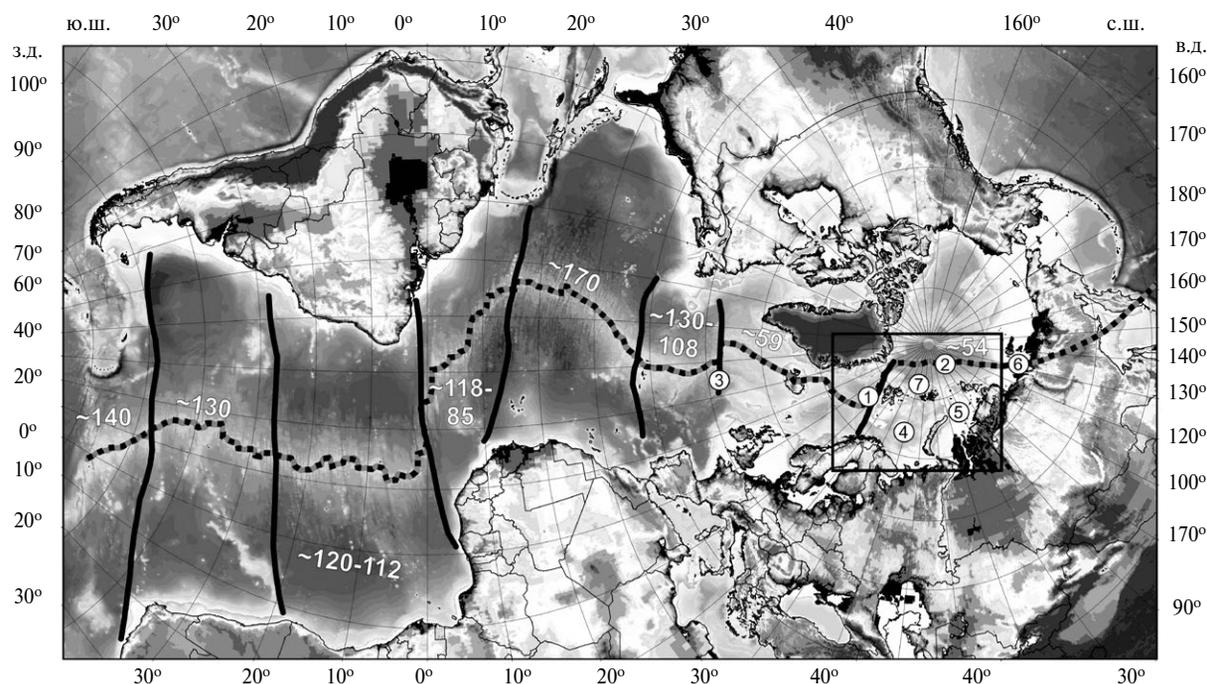


Рис. 5. Атлантико-Арктическая рифтовая система (ААРС).

Показано положение: Западно-Арктической мегапровинции (черный квадрат), профиля ААРС с расчетом атрибута V_p/V_s (пунктирная линия).

Дана сегментация ААРС на разновозрастные блоки – время начала спрединга, млн лет (цифры) по демаркационным разломам (жирные линии, ортогональные Срединно-Атлантическому хребту).

Показано (цифры в кружках): 1 – рифт Книповича, 2 – рифт Гаккеля, 3 – разлом Чарли Гиббс, 4 – Баренцево море, 5 – Карское море, 6 – море Лаптевых, 7 – архипелаг Земли Франца-Иосифа.

Изучение этих сложных полигенных образований является ключом к пониманию не только современной тектоники и геологической истории обширных областей, но и позволяет оценить направленность их развития во времени.

Западно-Арктическая мегапровинция

Мегапровинция является областью сочленения двух – Атлантического и Ледовитого – океанов и объединяет две провинции – Норвежско-Гренландскую и Евразийскую (Баренцевоморско-Карскую). Обе провинции являются сопряженными звеньями единой Атлантико-Арктической цепи рифтогенных структур (рис. 5).

Главными структурными элементами на границе провинций являются рифт Книповича и разломная зона Моллой, примыкающие почти под прямым углом к рифту Гаккеля. Такой тип структурного сочленения представляется отражением общей закономерности взаимоотношений Атлантико-Арктических рифтогенных структур. Так, в центрально-полярной проекции хорошо видны субпараллельные друг другу левосторонние трансформные сдвиги (Книповича, Чарли Гиббс). Арктические разломы субпараллельны Атлантическим трансформам (также левосторонними или нейтральными), определяющим очертания материков Африки и Америки. Рифтогенные процессы пол-

ностью определяли и определяют закономерности эволюции литосферы, масштабы и морфологию формирующихся структур, характер накопления и преобразования комплексов осадочного чехла мегапровинции. Процессы растяжения в Норвежско-Гренландской провинции происходили в позднем девоне и карбоне в пределах Норвегии и восточной Гренландии [29, 32, 37, 38]. Согласно реконструкциям движения Гренландии относительно неподвижной Европы, наиболее интенсивная фаза раскрытия Норвежско-Гренландской провинции имела место в эоцене в интервале 55–33 млн лет (24–13 магнитные аномалии) [46]. Раскрытие северного региона провинции началось около 33 млн лет назад (13 аномалия), когда Гренландия и Евразия отделились друг от друга [36, 43]. Евразийская провинция является наиболее молодым и тектонически активным в настоящее время звеном Арктических рифтогенных структур.

Новые оригинальные данные, полученные в результате полевых исследований на территориях и акваториях мегапровинции позволяют охарактеризовать основные черты ее строения и наметить контур комплексной модели тектонического развития [12, 18, 20–23, 26]. Анализ соотношений скоростей прохождения продольных и поперечных сейсмических волн и их сопоставление с характеристикой мантийной среды по данным сейсмотомо-

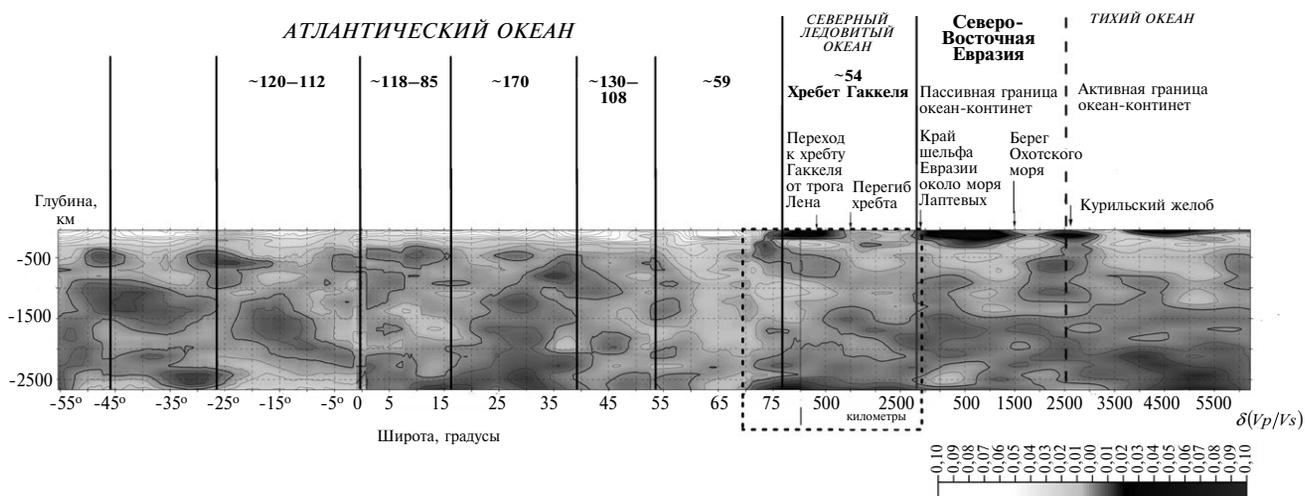


Рис. 6. Разрез вдоль Атлантико-Арктической рифтовой системы (ААРС) атрибута $\delta(V_p/V_s)$, рассчитанного по данным [31, 47] и методике, по [22].

Показана (пунктирный прямоугольник) область Западно-Арктической провинции.

Положение профиля ААРС (см. рис.5).

Разрез от 55° ю.ш. до 80° с.ш. показан в проекции на ось широт, далее через полюс он показан вдоль линии профиля с горизонтальной координатой, измеряемой в километрах.

Блоки разграничены (вертикальные линии) демаркационными разломами с указанием времени начала спрединговых процессов.

графии позволил оценить вариации интенсивности процессов рифтогенеза [20].

Установлено, что мегапровинция является частью Атлантико-Арктической рифтовой системы, которая представляет собой структуру глобального масштаба суммарной длиной не менее 18 тыс км и включает Срединно-Атлантический хребет (САХ) и хребет Гаккеля (см. рис. 5). Общий тренд развития Атлантико-Арктических рифтовой системы имеет направленность с юга на север. Возраст начала спрединговых процессов в разных ее сегментах колеблется от 170 в Центрально-Атлантической до 54 млн лет в Атлантико-Арктической мегапровинциях (рис. 6). Разновозрастность процессов свидетельствуют о том, что Атлантико-Арктическая рифтовая система не является единой дивергентной границей при замкнутой конвективной ячейке, охватывающей всю мантию.

Направленность процессов растяжения с юга на север через полюс приводит к торцевому сочленению растущей зоны растяжения хребта Гаккеля с континентальным массивом северо-восточной Евразии. Проградация рифтовой системы сопровождается образованием недоразвитых ветвей, процесс раскалывания континента по которым застопорился без формирования больших бассейнов. Российский сегмент мегапровинции содержит два района, где имеет место взаимодействие рифта со структурным континентальным барьером — море Лаптевых и архипелаг Земли Франца-Иосифа. В контексте развития Атлантико-Арктической рифтовой системы оба района, а также глубоководная часть, имеют значения как феномены рифтового тектогенеза, завершившегося в нижнем мелу,

и современного, траектория которого через северо-восток России еще не определилась во взаимодействии с континентальной литосферной плитой.

Тектоническая предыстория Западной Арктики

Обобщение междисциплинарных данных свидетельствует о том, что тектоническая предыстория заложения Западно-Арктической мегапровинции началась в неопротерозое. Анализу возможного расположения континентальных масс в докембрии посвящено большое количество публикаций, смысл которых подтвержден результатами недавних исследований [33]: в период с позднего палеопротерозоя до среднего неопротерозоя мегапровинции Восточно-Европейская, Лаврентийская (Северо-Американская) и Сибирская являлись частью суперконтинента Колумбия.

Существование в прошлом единого массива континентальной коры позволяет проследить возможное продолжение Среднерусско-Беломорско провинции. Мы предполагаем, что структуры Среднерусско-Беломорской тектонопары характеризуют небольшую часть надрегиональной системы, значительная часть которой была переработана в процессе палеозойско-кайнозойского формирования современной Западно-Арктической мегапровинции. Используя закономерности пространственного расположения Среднерусско-Беломорских структур, можно очертить контуры предполагаемой палеогеодинамической системы (рис. 7). Положение азимутов направлений главных структурных элементов Среднерусско-Беломорской тектонопары показано на врезке. Проецирование осей Беломорско-Пинежских прогибов и нормалей к касатель-

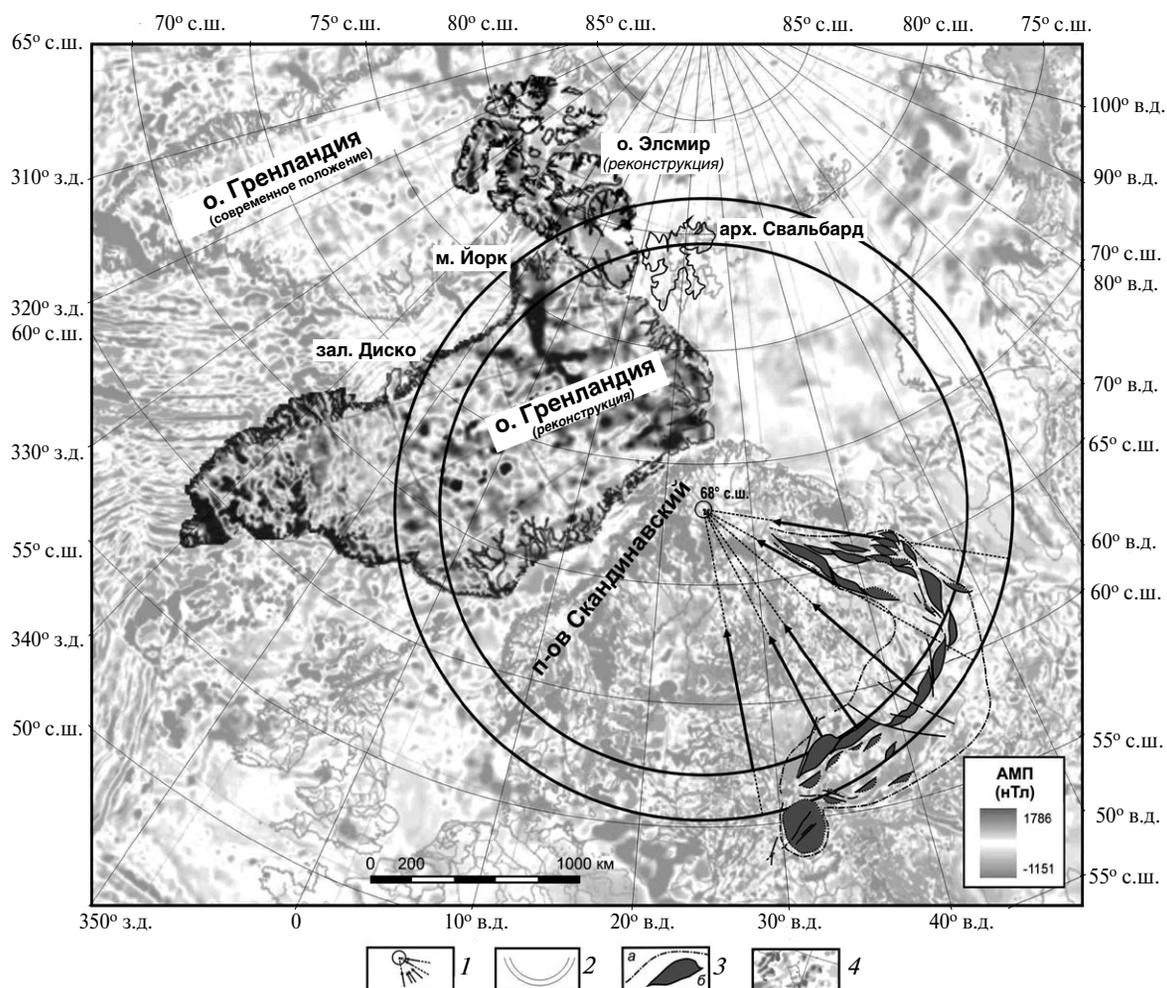


Рис. 7. Палинспастическая реконструкция границ неопротерозойской надрегionalной геодинамической системы по данным аномального магнитного поля (АМП) [19, 34].

1 – точка схода и проекции линий, ортогональных простираниям Среднерусского авлакогена и Полоцко-Курземского пояса разломов, параллельных простираниям главных структур Беломорско-Пинежского региона; 2 – поисковая окружность; 3 – главные тектоно-седиментационные системы: *a* – доплитные, *b* – плитные; 4 – фрагмент карты полного вектора АМП на современной топооснове в полярной проекции с центром минимальных искажений в точке 68° с.ш. и 25° в.д.

ным относительно серповидного Среднерусского авлакогена дает общую точку схода с координатами около 68° с.ш. и 25° в.д. Понимая, что определение действительного полюса Эйлера требует специальных расчетов, условно рассмотрим эту точку как мгновенный полюс вращения для Среднерусско-Беломорской тектонопары.

Приняв геометрическую точку схода за центр окружности, можно по периметру последней наметить тектоно-седиментационные системы, которые потенциально могли участвовать в едином неопротерозойском геодинамическом процессе. Для уменьшения погрешностей за счет кривизны поверхности построения выполнены на карте полного вектора аномального магнитного поля в полярной проекции, где координаты точки минимальных искажений соответствуют геометрической точке схода азимутов ориентировки главных структур (см. рис. 7).

Палинспастическое возвращение Гренландии и острова Элсмир, выполненное путем последовательного “закрытия” магнитных аномалий на карте полного вектора аномального магнитного поля, на место их нахождения в неопротерозойское (позднерифейское) время согласуется с построениями [30, 35]. Областью наибольшего интереса представляется полоса, ограниченная радиусами около 1200 и 1500 км, принятыми исходя из наблюдаемых поперечных размеров Среднерусского авлакогена. Внутри этой полосы шириной около 300 км искомые неопротерозойские тектоно-седиментационные системы или их реликты могут быть расположены на относительно доступных наблюдениям территориях в пределах древнего Евро-Американского кратона.

В пределах Западной Европы к реконструируемой палеогеодинамической системе наиболее вероятно относились сдвиго-раздвиговые структуры

о. Готланд и южной части Скандинавского полуострова. Интерпретация материалов ГСЗ показала, что в центральной части Балтийского моря выделяется локализованное погружение поверхности Мохо до глубин 45 км, выраженное впадиной шириной 110 км, ограниченной ступенчатыми сбросами до 2–3 км и пространственно простирающейся в северо-западном направлении [39, 40]. Другими словами, в центральной части Балтийского моря выделяется тектонический пояс, который протягивается на расстояние около 500 км в направлении с северо-запада на юго-восток от восточного побережья Южной Швеции через северную часть острова Эланд и полностью включает о. Готланд. На восточном берегу моря он проходит южнее Рижского плутона рапакиви и попадает в область западной части Полоцко-Курземского пояса разрывов, который представляется продолжением структур Среднерусского региона. Хотя природа этого пояса окончательно не выяснена, он интерпретируется как неопротерозойский рифт или реликт древней континентальной окраины [7].

На территории о. Гренландии параллельно поисковой окружности протягивается пояс с полупрозрачным образом магнитного поля. Такой тип поля характерен для областей переработки консолидированной коры и установлен, в частности, вдоль простирания Среднерусского авлакогена. Учитывая тот факт, что поисковая полоса является геометрической абстракцией, принимая во внимание неизбежные при палеорекострукциях искажения и неопределенности (прежде всего с конечным положением Гренландии относительно Восточно-Европейской платформы в связи с покровами каледонид), можно достаточно уверенно связать формирование гренландской полосы прозрачного магнитного поля с реконструируемой неопротерозойской геодинамической системой.

В пределах окружности установлены пластически деформированные мигматитовые гнейсы с прослоями и будинами амфиболитов, нематаморфизованные красноцветные песчаники, несогласно налегающие на эродированные граниты, и относимые к гардарскому (около 1 млрд лет) тектоническому этапу [11]. Можно предположить соответствие мигматизированных гнейсов комплекса Эгедесминне породам комплекса тектонического меланжа в фундаменте Среднерусско-Беломорской провинции, а красноцветные псефиты сопоставить с грубозернистыми породами красноцветной толщи молоковской серии. В пользу последнего предположения свидетельствуют как фациальные признаки пород, так и гардарский (позднерифейский) возраст песчаников.

Геологические данные свидетельствуют о том, что в пределах и вдоль ближайшей периферии поисковой окружности в неопротерозое существовали тектоно-седиментационные системы, при формировании которых доминировал режим хрупкого растяжения по зонам бластомилонитов. Это под-

тверждает предположение о возможном формировании в неопротерозое на территориях Западной Европы, Гренландии, о. Элсмир и, возможно, Северного Шпицбергена, сдвиговых зон и приуроченных к ним бассейнов, геодинамически связанных с таковыми в Среднерусско-Беломорской провинции.

Наблюдаемые соотношения структурных элементов и разнонаправленность сдвиговых смещений в тектонопаре наиболее вероятно были определены асимметричными вертикальными движениями Балтийского геоблока и его обрамления. Относительный подъем Балтийского геоблока в районе Онежского выступа, где наблюдается резкая смена простирания осей главных систем растяжения тектонопары, привел к возникновению разнонаправленных сдвиговых смещений относительно элементов внутренней и внешней поверхностей — правостороннего к северо-востоку и левостороннего к юго-западу.

В масштабе Восточно-Европейской платформы резкий изгиб Среднерусско-Беломорского пояса в районе Онежского выступа отражает общую закономерность расположения серии дугообразно выгнутых в юго-восточном направлении от Балтийского геоблока структурных зон. К ним относятся Мезенско-Вычегодская, плавно переходящая в Московскую, Камско-Вятская и Рязано-Саратовская, сопряженные с Токаревско-Уфимской и Осинской [9]. Можно предположить, что эти разновеликие асимметричные цепочки структур словно “годовые кольца” отражают этапы воздымательного проседания его юго-восточного обрамления. Отражением этих движений по периферии геоблока представляются тектоно-седиментационные системы, предполагаемые нами на территориях Западной Европы, Гренландии и Северной Америки.

Перспективы тектонического развития

Изучение строения мегапровинций, анализ их пространственного расположения и соотношения со смежными областями позволяет обратиться к выявлению эволюционной направленности в развитии крупнейших надрегиональных тектоно-седиментационных систем — сегментов земной коры.

Закономерное распространение Атлантико-Арктической рифтовой системы на огромных пространствах с юга на север в течение длительного геологического времени указывает на глобальность этого явления. Современное затухание рифтогенной структуры Гаккеля в море Лаптевых представляется явлением временным. Опираясь на анализ пространственного распределения сейсмичности, в дальнейшем следует ожидать проградации рифтовой системы через структуры Омолона и Верхонского пояса к проливу Дерюгина или на юг Камчатки (см. рис. 5) [20].

Точно также, как это происходило с более древними частями Атлантико-Арктической рифтовой системы, ее продолжение пересечет разновозрастные и генетически разные области (мегапровинции) от дивергентных Арктических, через Северо-Восточную область эпиплатформенной орогении к окраинным морям Запада Тихого океана.

Следуя логике реализации рифтогенеза, дальнейшее развитие территорий будет определяться пострифтовым проседанием и ростом синеклиз, как это имело место в ходе геологического развития неопротерозойско-палеозойской Среднерусско-Беломорской провинции. Единственное отличие заключается в надрегиональном (планетарном) масштабе реализации процесса. Объектом рифтогенного воздействия становится не отдельная область, а совокупность мегапровинций. Именно этот процесс идет сегодня в Арктике, где акватория Северного Ледовитого океана, намного превышающая границы собственно рифтогенных структур, в первом приближении очерчивает границы растущей синеклизы.

С позиций современного и ожидаемого в перспективе развития Атлантико-Арктической рифтовой системы, разнородные по строению фундамента, времени протекания главной складчатости и заложения плитного чехла, области становятся единым образованием. Такая консолидация разнородных мегапровинций очевидно является следствием ряда геологических и космологических процессов. С точки зрения механики и кинематики объединение разнородных сегментов в единое тело представляется неперемным условием для передачи и распространения деформаций.

Ранее при анализе строения и пространственного распространения континентальных платформенных областей разного возраста было установлено, что эволюция этих областей выражалась в наращивании древних платформ возникавшими позднее платформами [4, 6]. Зрелые платформенные области состоят из главных сегментов двух типов: собственно эпибайкальских (зрелых) платформ и древнеплатформенных. Молодые платформенные области включают собственно молодые (эпипалеозойские с эпикиммерийскими зонами) платформы, зрелые и древние платформы. Юные (эпимезозойские) платформенные области состоят из разновозрастных сегментов — молодых, зрелых и древних платформ.

Полученные нами данные подтверждают и развивают эти выводы. В частности, установленный эволюционный ряд логично завершить новейшими (неотектоническими) платформенными областями. В пределах крупнейшего континента Земли — Евразии можно выделить Евразийскую платформенную область, в пределах которой новейшие тектонические движения вписываются во временные рамки позднего олигоцена — квартера. Для этого времени на территории Евразии можно наметить обширную область, которая удов-

летворяет понятию платформы, т.е. имеет преимущественно равнинный рельеф и разрез, в котором выделяется фундамент, сложенный складчатыми метаморфизованными породами, и чехол, сложенный относительно спокойно залегающими осадочными и вулканогенными породами, не претерпевшими регионального метаморфизма.

На протяжении Пиренейской и Крымско-Кавказско-Копетдагской покровно-складчатых систем на границе платформы расположены впадины глубоководных морей с субокеанской земной корой (Черноморская, Южно-Каспийская). На севере и северо-западе платформа ограничена океанскими мегапровинциями Бискайского залива и Северного Ледовитого океана. На юге, юго-западе и юго-востоке эта платформа ограничена огромными орогеническими областями: покровно-складчатыми мегапровинциями Альпийско-Гималайского подвижного пояса (Пиренеи, Альпы, Карпаты, Крым, Кавказ, Копетдаг, Памиро-Алай) и эпиплатформенного орогенеза (дейтероорогенеза) — Тянь-Шань, Джунгарская, Алтае-Саянская, Верхояно-Колымская горные системы. Таким образом, Евразийская новейшая платформенная область занимает большую часть суши Северной Евразии, а также значительную полосу шельфовых областей Северного, Норвежского, Баренцева и Карского морей.

Новейшие орогенические поднятия, граничащие с платформой, оказывали существенное влияние на прилегающие к ним плитные структуры платформы. Так, под воздействием поднятия Альпийско-Карпатского орогена параллельно ему сформировалась Центрально-Европейская зона поднятий. Продолжающееся развитие Атлантико-Арктической рифтовой системы привело к появлению в пределах платформы новейших рифтов типа Рейнского, а в районе Балтийского моря новообразованной в течение последних 0.4 млн лет Восточно-Балтийской рифтовой системы.

Площадь Евразийской новейшей платформенной области можно расширить, если отнести Момскую рифтовую зону к внутриплатформенным образованиям. В этом случае область мезозойд северо-востока Азии можно включить в состав новейшей Евразийской платформы. Кроме того, следует ожидать расширения новейшей Евразийской платформы в южном и восточном направлениях. Действительно, межгорные впадины мегапровинции эпиплатформенной орогении (дейтероорогенеза) в азиатской части Евразийской литосферной плиты являются тектоно-седиментационными системами с мощными вулканогенно-осадочными чехлами эпимезозойского возраста. Хотя, с позиций эволюции платформенных областей, эти структуры находятся на начальных стадиях развития, их можно с определенной долей условности включить в состав новейшей платформы как Центрально-Азиатскую мегапровинцию эпиколлизионной орогении.

Сказанное относится и к тектоно-седиментационным провинциям азиатской части Тихоокеанского подвижного пояса. Развитые в результате интенсивного растяжения в тылу островных дуг окраинные моря после завершения фазы активного развития превратятся в полигенные бассейны синеклизного типа с рифтогенным цоколем доплитного (активного) этапа развития и плитным вулканогенно-осадочным чехлом.

Перечисленные характеристики новейшей платформы являются следствием консолидации разнородных мегапровинций, а Евразийская платформа представляется главной областью реализации современных геодинамических процессов, контролируемых закономерностями развития платформенного уровня.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Предложенная классификация тектоно-седиментационных систем позволила упорядочить объекты исследования по масштабу реализации геологических процессов и в ряде случаев пересмотреть значение некоторых из них для оценки тектонической обстановки. Прежде всего, это относится к осадочным бассейнам переоценка масштаба и роли которых в строении тектоносферы породила тенденцию рассматривать их как некий универсальный индикатор геодинамических режимов. С позиций единого системного подхода к анализу тектоно-седиментационных систем рассмотрены как геологическая история структур локального и регионального рангов, так и эволюционная направленность в развитии генетически и исторически разных мегапровинций и сегментов земной коры. На этой основе нами получены оригинальные результаты, важнейшие из которых сводятся к следующим.

Современное строение Среднерусско-Беломорской провинции является результатом взаимодействия региональных и локальных тектонических и осадочных процессов в континентальной земной коре, при этом масштабы сформированных структурно-вещественных комплексов и их положение в разрезе земной коры отражают ранги тектоно-седиментационных систем. Структурно-вещественные комплексы локальных систем ограничены уровнем верхней коры или осадочного чехла, тогда как региональные системы охватывают всю кору.

Региональные движущие механизмы процессов радикально менялась на разных этапах развития провинции, однако область их проявления оставалась неизменной в течение длительного (сотни миллионов лет) периода геологического времени. Организация структурно-вещественных комплексов отражает не прямую унаследованность тектонических процессов, но в значительной степени их предопределенность геодинамическими событиями предыдущих этапов (тектонической предысторией) тектоно-седиментационных систем. Так, петрофизические свойства палеопротерозойской

коры предопределили область реализации рифтогенных процессов в неопротерозое. Развитие региональных сдвигов в земной коре контролировало формирование систем растяжения на доплитном этапе эволюции платформы. Возникновение жесткого массива на пути регионального сдвига в Среднерусском регионе привело к трансферному смещению оси авлакогена, что в свою очередь, предопределило асимметрию главной плитной структуры – Московской синеклизы. Обусловленная палеопротерозойским тектогенезом неоднородность свойств консолидированной коры в сочетании с неопротерозойским рифтогенезом предопределили избирательную приуроченность в расположении и закономерности роста Солигаличского мегавала на протяжении всей фанерозойской истории прогибания синеклизы.

Локальные неоднородности строения фундамента определяли его реакцию на приложение региональных тектонических напряжений и контролировали образование генетически родственных структурно-обособленных присдвиговых грабенов. При общем сходстве процессов, каждый из грабенов являлся самостоятельной тектоно-седиментационной системой, что отражено в индивидуальных фациальных чертах выполняющих его осадочных комплексов.

К числу принципиально важных результатов мы относим выявленную закономерность минимизации энергетических затрат на реализацию динамических процессов. Так, с момента заложения все доплитные тектоно-седиментационные системы Среднерусско-Беломорской провинции развивались в пределах полосы мигматизированной и динамически переработанной коры.

В ходе дальнейшего структурообразования в обеих системах растяжения Среднерусско-Беломорской тектонопары, разломы в земной коре и связанные с ними бассейны приспособлялись к доступному пространству в пределах верхней хрупкой коры, ветвились, огибая крупные тектонические блоки (Архангельский и Торжокский массивы), но после исчезновения препятствий стремились занять положение вдоль оси генерального сдвига.

Принципу минимальных энергетических затрат соответствует и закономерное вырождение бассейнообразующих неопротерозойских срывов на глубине за счет приспособления к более древним detachments. Установленное несовпадение в плане хрупких структур (осадочных бассейнов) и утоненных участков коры свидетельствует о вторичности утонения. Простирающиеся осей утоненных участков дискордантно простирающимся как Беломорско-Пинежских так и Среднерусских структур. Эта закономерность позволяет предположить, что вызванное крупномасштабным сдвигом перераспределение средне-нижнекоровых масс также происходило по принципу минимальных энергетических затрат с ярко проявленной тенденцией к спрямлению векторов деформаций

Рассматриваемая закономерность реализации динамических процессов проявляется и на локальном уровне. Ориентировки неопротерозойских сбросов и сбросо-сдвигов не повторяют направления палеопротерозойских сколовых зон или сланцеватость метаморфического фундамента. Молодые нарушения стремятся приспособиться к древним зонам ослабленной коры. При совмещении сместителя неопротерозойского сброса с плоскостью палеопротерозойского detachment (пласта бластомилонитов) возникают глубокие, динамично развивающиеся осадочные бассейны.

Изучение Западно-Арктической мегапровинции позволило выявить закономерности развития крупных (надрегиональных) рифтовых систем. Установлено, что мегапровинция является частью структуры глобального масштаба Атлантико-Арктической рифтовой системы. Образование системы нельзя связать с замкнутой конвективной ячейкой в мантии в силу направленного омоложения спрединговых процессов по ее простиранию с юга на север. Фундаментальной гипотезой, объясняющей подобное протекание тектогенеза вдоль Атлантико-Арктической рифтовой системы, является представление о растяжении коры как реакции на дрейф плит. Сочетание этих факторов определяет время, место и характер протекания спрединговых процессов, формирования океанических бассейнов и заложения бассейнов на прилегающих континентах с мощными осадочными комплексами.

Тектоника рифта Книповича сформирована сочетанием правосдвиговых смещений. Эти смещения формируют современную структуру района Книповича как локальный рифт в обстановке пулл-апарт [23]. Логика тектонической эволюции данного сегмента Атлантико-Арктической рифтовой системы такова, что он, по всей видимости, будет трансформирован в единый сдвиговый разрыв, перпендикулярный главным спрединговым центрам Мона и Гаккеля. Это подтверждается тектонической активизацией юго-восточного фланга рифта Книповича, выраженной в асимметрии эпицентров слабых землетрясений и характером нарушений верхней части осадочного чехла на восточном фланге. Данный сдвиг будет развиваться по принципу максимального спрямления трансферной зоны между сегментами Атлантико-Арктической рифтовой системы.

Особый интерес вызывает оценка дальнейшего развития торцевого сочленения растущей зоны растяжения хребта Гаккеля с континентальным массивом северо-восточной Евразии. Опираясь на установленные закономерности в развитии Атлантико-Арктической рифтовой системы и полагая, что принцип минимализации энергетических затрат в ходе динамических процессов реализуется на всех уровнях земной коры, было предположено, что дальнейшее развитие рифтовой системы будет направлено в сторону Камчатских или Охотоморских структур. В пользу данного предположения

свидетельствует существование сейсмоактивной зоны, соединяющей рифтогенные структуры морей Лаптевых (Гаккеля-Омолона) и Охотского (впадина Дерюгина).

Важным следствием проведенных исследований представляется вывод о том, что реализации крупномасштабных геодинамических процессов предшествует снижение гетерогенности геологической среды, которая в терминах тектоно-седиментационного анализа может быть описана как консолидация мегапровинций. Объединение разнородных сегментов в условно единое тело (платформенную область) представляется неременным условием для реализации геодинамических процессов новейших этапов.

Консолидация разнородных мегапровинций выражена в закономерном наращивании древних платформ более молодыми структурными областями. Именно эта закономерность позволила обосновать выделение в пределах Евразии новейшей платформенной области — обширного пространства реализации современных геодинамических процессов, контролируемых закономерностями развития планетарного уровня.

Представление о дальнейшем расширении Евразийской платформенной области в южном направлении за счет структур Центрально-Азиатской мегапровинции эпиколлизионной орогении обосновано наличием в составе последней крупных межгорных впадин с мощными вулканогенно-осадочными чехлами эпимезозойского возраста. Проградация новейшей платформенной области в восточном направлении в перспективе может быть достигнута за счет включения в ее состав тектоно-седиментационных провинций азиатской части Тихоокеанского подвижного пояса. Развитые в результате интенсивного растяжения в тылу островных дуг окраинные моря после завершения фазы активного развития превратятся в полигенные структуры синеклизного типа с рифтогенным цоколем доплитного (активного) этапа развития и плитным вулканогенно-осадочным чехлом.

Подобный процесс идет сегодня в Арктике, где акватория Северного Ледовитого океана, намного превышающая границы собственно рифтогенных структур, в первом приближении очерчивает границы растущей синеклизы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разнопорядковость структурообразующих процессов определяет иерархическую организацию (соподчиненность) тектоно-седиментационных систем, которые характеризуют разные по объему структурно-морфологические области. Так, с глобальной тектоникой связано развитие систем в масштабах литосферных плит, с региональной — провинций и их частей.

Независимо от ранга и геодинамической принадлежности тектоно-седиментационных систем и на всех уровнях — от локального до надрегионального — реализация геологических процессов протекает по пути привлечения наименьших энергетических затрат.

Сравнительный анализ тектоно-седиментационных систем соответствует общей тенденции развития наук о Земле и нацелен на получение количественных оценок процессов и явлений, переход от описания к разработке комплексных прогнозных моделей. Междисциплинарное изучение многокомпонентных систем включает выявление движущих механизмов структурообразования, оценку масштабов тектонических и седиментационных процессов, реконструкцию древних тектоно-седиментационных систем и поиск их возможных современных аналогов.

Комплексные тектоно-седиментационные модели, обладающие прогнозными возможностями, должны учитывать соотношение размеров и пространственного положения областей реализации геодинамических процессов (тектоно-седиментационных систем) и результирующих геологических тел.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников лаборатории сравнительного анализа осадочных бассейнов ГИН РАН М.П. Антипова, Ю.А. Воложа и анонимного рецензента за творческое обсуждение данных и конструктивную критику.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания № 0135-2018-0034 “Тектоно-седиментационные системы: строение и развитие”, анализ строения и развития Западной Арктики выполнен при поддержке проекта № 18-05-70040 РФФИ “Ресурсы Арктики”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беленицкая Г.А.* Опыт мелкомасштабного литогеодинимического районирования и картирования осадочного чехла территории России // Литосфера. 2007. № 5. С. 3–37.
2. *Богданов А.А.* О международной тектонической карте Европы. Масштаб 1:2 500 000 // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 4. С. 3–25.
3. *Богданов А.А.* О тектоническом расчленении докембрийских образований фундамента Восточно-Европейской платформы // Вестник МГУ. Сер. геол. 1967. № 1. С. 8–26.
4. *Гарецкий Р.Г.* Тектоника молодых платформ Евразии. М.: Наука, 1972. 300 с. (Труды ГИН, вып. 226).
5. *Гарецкий Р.Г.* Типы чехлов платформенных областей // ДАН. 2004. Т. 397. №4. С. 507–510.
6. *Гарецкий Р.Г.* Эволюционный ряд платформенных областей // Докл. НАН Беларуси. 2012. Т. 56. № 5. С. 101–105.
7. *Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Астапенко В.Н., Данкевич И.В.* Полоцко-Курземский пояс разломов // Докл. НАН Беларуси. 2002. Т. 46. № 6. С. 85–89.
8. *Гарецкий Р.Г., Нагорный М.Н.* Классификация типов строения осадочного чехла Восточно-Европейской платформы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2011. Т. 86. Вып. 2. С. 20–22.
9. *Гафаров Р.А.* Сравнительная тектоника фундамента и типы магнитных полей древних платформ. М.: Наука, 1976. 270 с.
10. *Геосторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов.* Серия методических руководств по геодинамическому анализу при геологическом картировании / Под. ред. Г.С. Гусева М.: ВСЕГЕИ, 1999. 523 с.
11. *Докембрий Канады, Гренландии, Британских островов и Шпицбергена.* М.: Мир, 1968. 383 с.
12. *Зайончек А.В., Брекке Х., Соколов С.Ю., Мазарович А.О. и др.* Строение зоны перехода континент-океан северо-западного обрамления Баренцева моря (по данным 24, 25 и 26 рейсов НИС “Академик Николай Страхов”, 2006–2009 гг.) // Строение и история развития литосферы. Вклад России в Международный Полярный Год. Том.4. М.: Paulsen, 2010. С. 111–157.
13. *Кириков В.П., Вербицкий В.Р., Вербицкий И.В.* Тектоническое районирование платформенных чехлов на примере Восточно-Европейской платформы // Региональная геология. 2017. № 72. С. 15–25.
14. *Косыгин Ю.А.* Тектоника. М.: Недра, 1969. 600 с.
15. *Красный Л.И.* Подвижные области и вопросы их номенклатуры // Сов. геология. 1961. № 10. С. 118–136.
16. *Красный Л.И.* Составление тектонических карт подвижных (складчатых) областей и некоторые вопросы упорядочения тектонической терминологии // Вопросы тектоники нефтегазоносных областей. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 102–107.
17. *Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция* // Ю.Г. Леонов, Ю.А. Волож (ред.). М.: Научный мир., 2004. 526 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 543).
18. *Пейве А.А., Чамов Н.П.* Основные черты тектоники хребта Книповича (Северная Атлантика) и история его развития на неотектоническом этапе // Геотектоника. 2008. № 1. С. 38–57.
19. *Петров О.В., Морозов А.Ф., Липилин А.В. и др.* Карта аномального магнитного поля (ΔT)_a России и прилегающих акваторий м-ба 1 : 5 000 000. СПб: ВСЕГЕИ, 2004а. 4 л.
20. *Соколов С.Ю.* Атлантико-Арктическая рифтовая система: подход к геодинамическому описанию по данным сейсмической томографии и сейсмичности // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 4 (36). С. 79–88.
21. *Соколов С.Ю.* Состояние геодинамической подвижности в мантии по данным сейсмотомографии и отношению скоростей Р и S волн // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2 (24). С. 55–67.
22. *Соколов С.Ю., Абрамова А.С., Зарайская Ю.А., Мазарович А.О., Добролюбова К.О.* Современная тектоническая обстановка северной части хребта Книповича, Атлантика // Геотектоника. 2014. № 3. С. 16–29.
23. *Соколов С.Ю., Абрамова А.С., Мороз Е.А., Зарайская Ю.А.* Амплитуды дизъюнктивных нарушений флангов хребта Книповича (Северная Атлантика) как индикатор современной геодинамики региона // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 4. С. 769–789.
24. *Тевелев А.В.* Сдвиговая тектоника. М.: Изд-во МГУ, 2005. 254 с.

25. Чамов Н.П. Строение и развитие Среднерусско-Беломорской провинции в неопротерозое. М.: ГЕОС, 2016. 234 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 609)
26. Чамов Н.П., Соколов С.Ю., Костылева В.В., Ефимов В.Н. и др. Строение и состав осадочного чехла района рифта Книповича и впадины Моллой (Норвежско-Гренландский бассейн) // Литология и полезн. ископаемые. 2010. № 6. С. 594–619.
27. Шатский Н.С. Парагенезы осадочных и вулканогенных пород и формаций // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1960. № 5. С. 3–23.
28. Яншин А.Л. Избранные труды. Т. 2: Теоретическая тектоника и геология. Кн. 2. М.: Наука; Новосибирск: ИНГГ СОРАН, 2011. 506 с.
29. Braathen A., Osmundsen P.T., Nordgulen Ø. et al. Orogen-parallel extension of the Caledonides in northern Central Norway: an overview // Norwegian J. Geol. 2002. Vol. 82. P. 225–241.
30. Bullard E.C., Everett J.E., Smith A.G. The fit of the continents around the Atlantic // Royal Soc. London. Philos. Trans. 1965. Vol. 258. P. 41–51.
31. Grand S.P., van der Hilst R.D., Widiyantoro S. Global seismic Tomography: A snapshot of convection in the Earth // GSA Today. 1997. Vol. 7. №. 4. P. 1–7.
32. Hartz E.H., Eide E.A., Andresen E.A. et al. 40Ar/39Ar geochronology and structural analysis: Basin evolution and detrital feedback mechanisms, Hold with Hope region, East Greenland // Norwegian J. Geol. 2002. Vol. 82. P. 341–358.
33. Lubnina N.V., Mertanen S., Söderlund U. et al. A new key pole for the East European Craton at 1452 Ma: Palaeomagnetic and geochronological constraints from mafic rocks in the Lake Ladoga region (Russian Karelia) // Precambrian research. 2019. Vol. 183 (3). P. 442–462.
34. Magnetic Anomaly Map of North America, USGS, 2002. URL: http://pubs.usgs.gov/sm/mag_map/ Accessed July 27, 2018.
35. Mosar J., Eide E.A., Osmundsen P.T. et al. Greenland-Norway Separation. A Geodynamic Model for the North Atlantic // Norweg. J. Geol. 2002. Vol. 82. P. 281–298.
36. Myhre A.M., Eldholm O., Sundvor E. The Margin Between the Senja and Spitsbergen Fracture Zones: Implications from Plate Tectonics // Tectonophysics. 1982. Vol. 89. P. 33–50.
37. Osmundsen P. T., Braathen A., Nordgulen Ø. et al. The Devonian Nesna shear zone and adjacent gneiss-cored culminations, North-central Norwegian Caledonides // J. Geol. Soc. London. 2003. Vol. 160. P. 1–14.
38. Osmundsen P.T., Sommaruga A., Skilbrei J.R., Olesen O. Deep structure of the Norwegian Sea area, North Atlantic margin // Norwegian J. Geol. 2002. Vol. 82. P. 205–224.
39. Ostrovsky A.A. New Tectonic Belt in the Baltic Shield Region // Physics of the Solid Earth. 1998. Vol. 34. №. 6. P. 429–435.
40. Ostrovsky A.A., Flueh E.R., Luosto U. Deep seismic structure of the Earth's crust along the Baltic Sea profile // Tectonophysics. 1994. Vol. 233. P. 279–292.
41. Riedel W. Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen // Zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie. 1929. Vol. 1929B. P. 354–368.
42. Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation // Ed. by K.T. Biddle, N. Christie-Blick / Soc. Econ. Paleontol. Miner. Spec. Publ. 1985. Vol. 37. 386 p.
43. Talwani M., Eldholm O. Evolution of the Norwegian-Greenland Sea // Geol. Soc. Amer. Bull. 1977. Vol. 88. P. 969–994.
44. Tchalenko J.S. Similarities between shear zones of different magnitudes // Geol. Soc. Am. Bull. 1970. Vol. 81. P. 1625–1640.
45. Tectonics of sedimentary basins : Recent Advances / Ed. by C. Busby and A. Azor. Wiley-Blackwell, 2012. 664 p.
46. Torsvik T.H., Van der Voo R., Meert J.G. et al. Reconstructions of continents around the North Atlantic at about the 60th parallel // Earth and Planet. Sci. Lett. 2001. Vol. 187. P. 55–69.
47. Van der Hilst R.D., Widiyantoro S., Engdahl E.R., Evidence of deep mantle circulation from global tomography // Nature. 1997. Vol. 386. No 6625. P. 578–584.
48. Wilcox R.E., Harding T.P., Seely D.R. Basic wrench tectonics // AAPG. 1973. Vol. 57. P. 74–96.

Structure and Evolution of Ancient and Modern Tectonic-Sedimentary Systems

N.P. Chamov^{a,*}, S.Yu. Sokolov^a, R.G. Garetskiy^b, and I.S. Patina^a

^aGeological Institute, Russian Academy of Sciences, 119017, Moscow, Russia

^bInstitute for Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus, 220114, Minsk, Republic of Belarus

*e-mail: nchamov@yandex.ru

Received July 24, 2018; revised January 25, 2019; accepted January 28, 2019

The article discusses the ratio of the size and spatial position of ancient and modern areas of geodynamic processes (tectonic-sedimentary systems) and the resulting geological bodies. It has been established that regardless of the rank and geodynamic affiliation of tectonic-sedimentary systems at all levels, from local to supra-regional, the implementation of geological processes proceeds along the path of least energy expenditure. In the modern structure of the Atlantic-Arctic Rift System, this trend is expressed in the development of strike-slips on the principle of maximum straightening of transfer zones between its segments. In the future, it will also determine progradation of the rift system through Eurasian platform region.

Keywords: crust, Atlantic-Arctic rift system, rifting, geodynamics, sedimentation