

УДК 551.243 (571.1)

СТРУКТУРЫ ЛАТЕРАЛЬНОГО ТЕЧЕНИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.

Статья 1. Особенности геологического строения, структурные парагенезы фундамента

С.Ю. Колодяжный

Геологический институт РАН, Москва

Поступила в редакцию 20.04.11

В пределах юго-восточной краевой части Балтийского щита выявлены долгоживущие структурные парагенезы, которые формировались и периодически подновлялись с палеопротерозоя до неотектонического этапа развития территории. Кинематические данные показывают, что в конце палеопротерозоя в результате встречных перемещений кристаллических масс Водлозерского массива и Беломорско-Лапландского пояса расположенные между ними палеопротерозойские толщи Ветреного пояса испытали тектоническое сжатие и выжимание в юго-восточном направлении. Сходная кинематическая тенденция проявилась и на более поздних платформенных этапах эволюции данной территории, что отразилось в особенностях строения выступа Ветреного пояса, образующего плитопоток пород фундамента, испытавших латеральное тектоническое течение на юго-восток.

Ключевые слова: фундамент, структура, кинематика, латеральное течение, Восточно-Европейская платформа.

В настоящее время наметилась некоторая несогласованность между тектоническими реконструкциями, основанными на классической тектонике плит, и разработками в области внутриплитной тектоники. В плеттктонических моделях литосферные плиты рассматриваются в качестве монолитных структур, испытывающих значительные латеральные перемещения без существенных преобразований внутренней инфраструктуры. В соответствии с этим активные границы тектонических плит (коллизонные пояса, зоны спрединга и др.) принимаются в качестве главных источников и аттракторов тектонических процессов, и, естественно, именно они привлекают основное внимание исследователей. Однако в последнее время все больше появляется данных, отражающих внутреннюю объемную (3D) подвижность литосферных плит, в том числе с древней континентальной корой. На основе различных методов исследований было показано, что преобладающей формой внутриплитного тектогенеза являются горизонтальные перемещения в пределах различных слоев тектонически расслоенной земной коры и верхней мантии (Копп, 2005; Леонов, 2008; Леонов, 1993, 1995; Сим, 1996). Эти данные не противоречат глобальной концепции плитного мобилизма, а существенно ее дополняют, придавая ей характер тектоники объемного течения.

Восточно-Европейская платформа (ВЕП), или субплита, является одним из важнейших объектов исследований внутриплитной тектоники. Материалы по анализу полей напряжений и сейсмичности, структурные и общетектонические построения легли в основу представлений о существенных деформациях этой субплиты в связи с горизонтальными перемещениями и взаимодействием со смежными подвижными поясами и плитами (Копп, 2005; Кропоткин, Ефремов, 1993; Леонов, 1995; Сим, 1996). Исследования в северо-восточной части ВЕП, включая юго-восточную часть Балтийского щита и прилегающую обширную область развития платформенного чехла, позволили выявить весьма сложный ансамбль структур, связанных с латеральными перемещениями геомасс и имеющих долгоживущий характер развития (Зыков и др., 2008; Колодяжный и др., 2007; Колодяжный, 2010). Объемная подвижность континентальной коры в этой области находит отражение в формировании разноранговых структурных ансамблей и парагенезов: крупных структур латерального перемещения и сдвиговых зон, складчато-разрывных нарушений и рифтов, а также различных мезо- и микроструктур, пронизывающих кристаллический фундамент и платформенный чехол.

В настоящее время имеется ряд проблем, касающихся, в частности: 1) анализа характера пере-

мещения ВЕП (как монолитной или построенной из мозаики блоков субплиты); 2) изучения внутриплитных структурных ансамблей, связанных с горизонтальными перемещениями; 3) обсуждения весьма дискуссионных механизмов передачи напряжений от активных границ плиты в ее внутренние области на многие сотни километров. Решение этих задач требует наращивания базы геолого-структурных данных, прежде всего на основе использования современных методов исследований. Новые структурно-кинематические данные, полученные для северо-восточной части ВЕП, позволяют пролить свет на некоторые из поставленных выше проблем. Обнаруженные здесь в породах фундамента и чехла деформационные структуры, проявленные на большом удалении от активных границ субплиты, представляют собой феномен, изучение которого имеет большое значение для внутриплитной тектоники.

Методические аспекты кинематического анализа платформенных структур

Общая методика структурно-кинематического анализа рассмотрена в работах (Hanmer, Passchier, 1991; Hatcher, 1995). Она прошла успешное тестиро-

вание при изучении сложноскладчатых докембрийских комплексов Балтийского щита (Колодяжный, 2006). Опыт исследований платформенных структур показал, что основные положения этой методики могут быть использованы и при изучении дислокаций плитного чехла (Колодяжный, 2010).

В процессе исследований использовались методы дистанционного изучения структур на основе дешифрирования цифровых карт рельефа и аэрокосмоснимков. Из множества выявленных линейментов выбирались системы нарушений, имеющие связь с выраженными в стратоизогипсах структурами чехла и фундамента, а также проявленные в конфигурации гравитационных и магнитных полей. Предварительная кинематическая идентификация нарушений проводилась на основе анализа структурных рисунков (по методике (Копп, 2005; Лукьянов, 1965)). Результаты дистанционного анализа уточнялись на основе полевых исследований.

По результатам полевых работ для каждой точки наблюдений строились обобщающие диаграммы, отражающие пространственные сочетания структур, среди которых выявлялись кинематически согласованные сообщества, образующие единый парагенез. Весьма информативными были системы трещин, составляющие зоны сдвиговых деформаций. Обычно

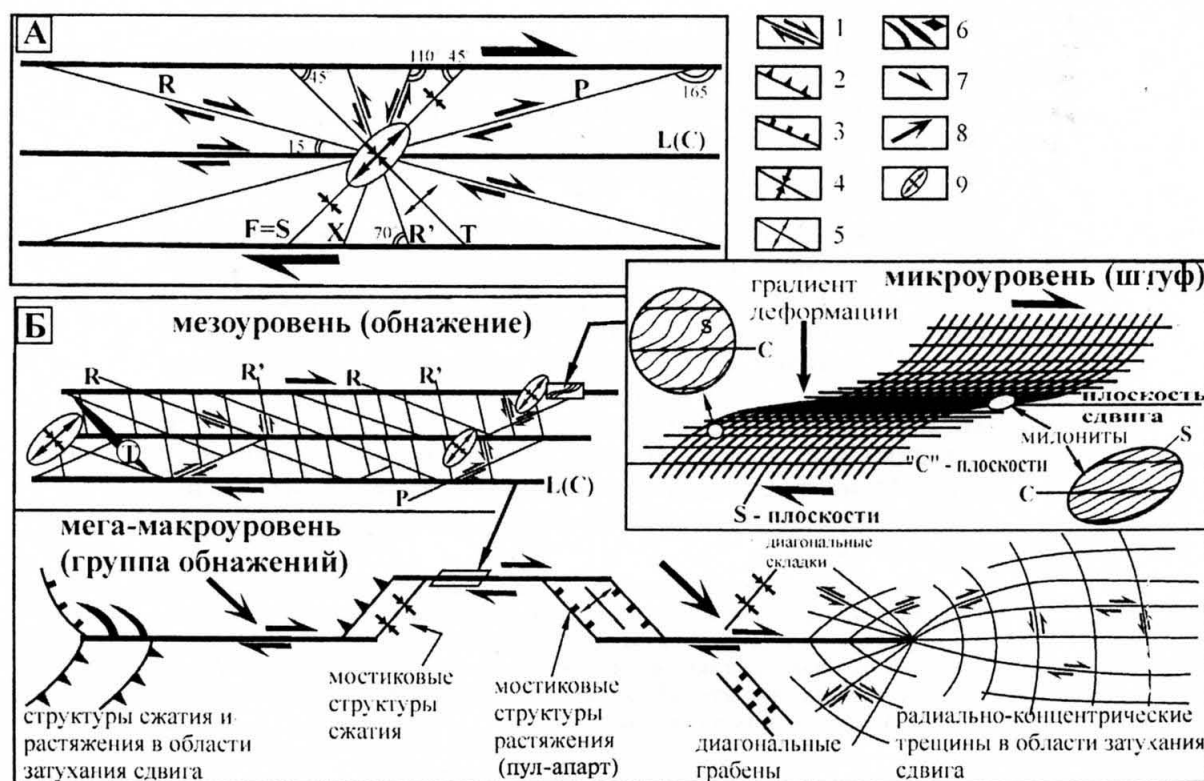


Рис. 1. Схемы, поясняющие принципы кинематической интерпретации структурных парагенезов в зонах сдвиговых деформаций. А — классификационная схема «сколов Риделя» (адаптировано из (Крапивнер, 1986)); Б — пространственные соотношения сопряженных структур для различных сегментов и масштабных уровней проявления сдвиговых зон:

1 — сдвиги; 2 — взбросы и надвиги; 3 — сбросы; 4, 5 — структуры сжатия (4) и растяжения (5); 6 — отрывы; 7, 8 — направления сдвиговых (7) и тангенциальных (8) перемещений; 9 — ориентировка главных осей деформации. Буквы на схеме: L, C — главные магистральные сдвиги; R, P — вторичные (оперяющие) синтетические сдвиги и сколы; R', X — вторичные антитетические сдвиги; T — структуры растяжения (отрывы); F, S — структуры сжатия (складки (F), сланцеватость (S) и др.).

удается выявить закономерные их сочетания в виде главных магистральных нарушений (L или C) и вторичных опоряющих трещин: синтетических (сколы Риделя R, P) и антитетических (R', X) сколов, трещин отрыва (T) и структур сжатия (F, S) (рис. 1, А). Пространственная позиция дополнительных структур в различных сегментах главного сдвига меняется. На участках затухания сдвига эти нарушения образуют структурный рисунок типа "конский хвост" с закономерным сочетанием структур сжатия и растяжения либо появляются радиально-концентрические системы трещин (рис. 1, Б). Сегменты изгиба и кулисного надстраивания сдвигов сопровождаются появлением смыкающих мостиковых структур сжатия и растяжения, в частности минипул-аппаратов. Наблюдения на мезо- и микроуровнях позволяют выявить структуры, сочетание которых отличается асимметрией, позволяющей определить кинематику нарушения. Среди важнейших кинематических индикаторов можно отметить макро- и микро- C—S-структуры милонитов, различные виды ротационных структур, асимметрично построенные зоны расщепления и разлинзования, сколовых и складчатых деформаций, а также ряд других плоскостных и линейных структур (рис. 1, Б).

При изучении кинематики отдельных трещин и сдвиговых зон высокого порядка использовался комплексный подход, включающий наблюдения за смещениями структурных реперов и изгибов плоскостных структур вдоль сместителей, морфологией C—S-структур и зеркал скольжения, а также за характером асимметрии строения зон дислокаций. Статистическая обработка данных проводилась с помощью структурных диаграмм, отражающих главные кинематические особенности отдельных сегментов зон дислокаций. Итогом дистанционных и полевых наблюдений были структурно-кинематические схемы, на основе которых проводились динамические построения.

Общие особенности геологического строения северо-восточной части ВЕП

Рассматриваемая территория охватывает крайнюю юго-восточную часть Балтийского щита и смежную область распространения осадков чехла Русской платформы (рис. 2). Здесь отчетливо обособлены три структурных этажа (Государственная..., 2000а, б). В пределах юго-восточной части Балтийского щита породы нижнего этажа (фундамента) образуют две главные тектонические области: Водлозерский массив (юго-восточная часть Карельского массива), сложенный архейскими гранит-зеленокаменными комплексами, и Беломорско-Лапландский пояс, в строении которого преобладают полиметаморфические гнейсы и амфиболиты неархейского беломорской серии (Колодяжный, 2006; Сыстра, 1991). Их разделяет сложно построенная тек-

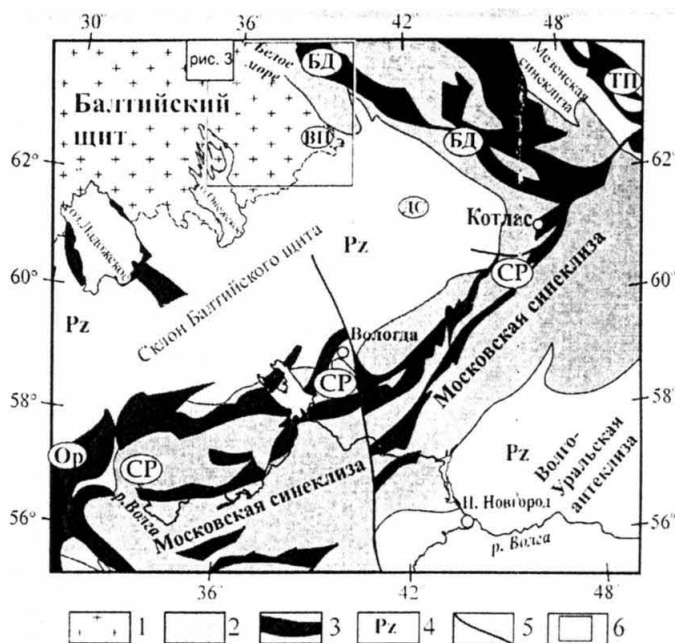


Рис. 2. Схема тектонического строения северо-восточной части ВЕП (составлено с использованием данных (Балуев, 2006; Государственная..., 2000а, б; Чамов, 2005)):

1 — докембрийский фундамент; 2 — палеопротерозойский коллизионный пояс (под чехлом Русской платформы); 3 — рифейские авлакогены; 4 — верхневендский — фанерозойский осадочный чехол; 5 — разрывы; 6 — участок детальных работ. Буквы на схеме: зоны дислокаций и системы авлакогенов: СР — Среднерусская, БД — Беломорско-Двинская; блоки: ДС — Двинско-Сухонский, ВП — выступ Ветреного пояса; Ор — Оршанская впадина; ТП — Предтимальский прогиб

тоническая структура Ветреного пояса, образующая одноименный горный кряж и сложенная палеопротерозойскими вулканогенно-осадочными толщами. Протяженность этого пояса превышает 250 км при ширине от 10—50 км на северо-западе и до 80 км у юго-восточного его окончания, где он образует горизонтальный выступ фундамента в область развития чехла Русской платформы (в дальнейшем — выступ Ветреного пояса).

Средний структурный этаж представлен терригенными континентальными отложениями рифея и нижнего венда, заполняющими системы грабенов Среднерусского и Беломорско-Двинского авлакогенов (Балуев, 2006; Чамов, 2005; Bogdanova et al., 1996) (рис. 2). Рифейские грабенообразные структуры кулисно надстраивают друг друга, испытывают смещения по поперечным разломам и в целом образуют системы линейных трогов, разделенных выступами фундамента. В основании рифейских грабенов породы фундамента подвержены деструкции и катаклазу, что подтверждается результатами бурения и сейсмическими данными, показывающими снижение значений скоростей V_p в кристаллических комплексах (Государственная..., 2000а; Чамов, 2005).

Осадки платформенного чехла, составляющие верхний структурный этаж, с глубоким размывом перекрывают и запечатывают структуры фундамен-

та и рифейских авлакогенов. Поздневендской трансгрессией начинается платформенный этап эволюции ВЕП, в процессе которого на фоне осадконакопления сформировались Московская и Мезенская синеклизы, а также ряд дополнительных структур. Согласно данным (Гарецкий, Нагорный, 2006; Государственная..., 2000а), в строении осадочного чехла Московской синеклизы участвуют четыре комплекса: верхнебайкальский (верхний венд — нижний кембрий), каледонский (средний кембрий — нижний силур), герцинский (девон — нижний триас) и редуцированный киммерийско-альпийский (средняя юра — мел, неоген — квартал). Суммарная мощность плитных комплексов в пределах рассматриваемой области достигает 2–3,5 км. Все они разделены поверхностями региональных несогласий и перерывов в осадконакоплении, сопоставляемых с этапами крупных тектонических перестроек.

В строении каждого комплекса отмечаются признаки конседиментационного формирования локаль-

ных поднятий и прогибов, что находит отражение в существенных вариациях мощностей осадков и появлении локальных поверхностей размыва и перерыва в осадконакоплении. Наиболее существенные вариации в строении чехла отмечаются в пространственной связи с конседиментационными структурами разного ранга. Примерами таких структур являются инверсионный Рыбинско-Сухонский мегавал, развитый в осадках чехла и венчающий рифейские грабены северо-восточной части Среднерусского авлакогена, а также выступ Ветреного пояса на юго-восточной окраине Балтийского щита (Гарецкий, Нагорный, 2006; Колодяжный и др., 2007; Колодяжный, 2010; Нагорный, 1990).

Структурные парагенезы фундамента

Детальные структурные исследования были проведены в пределах Ветреного пояса и обрамляющих его архейских комплексов (рис. 3). Согласно геоло-

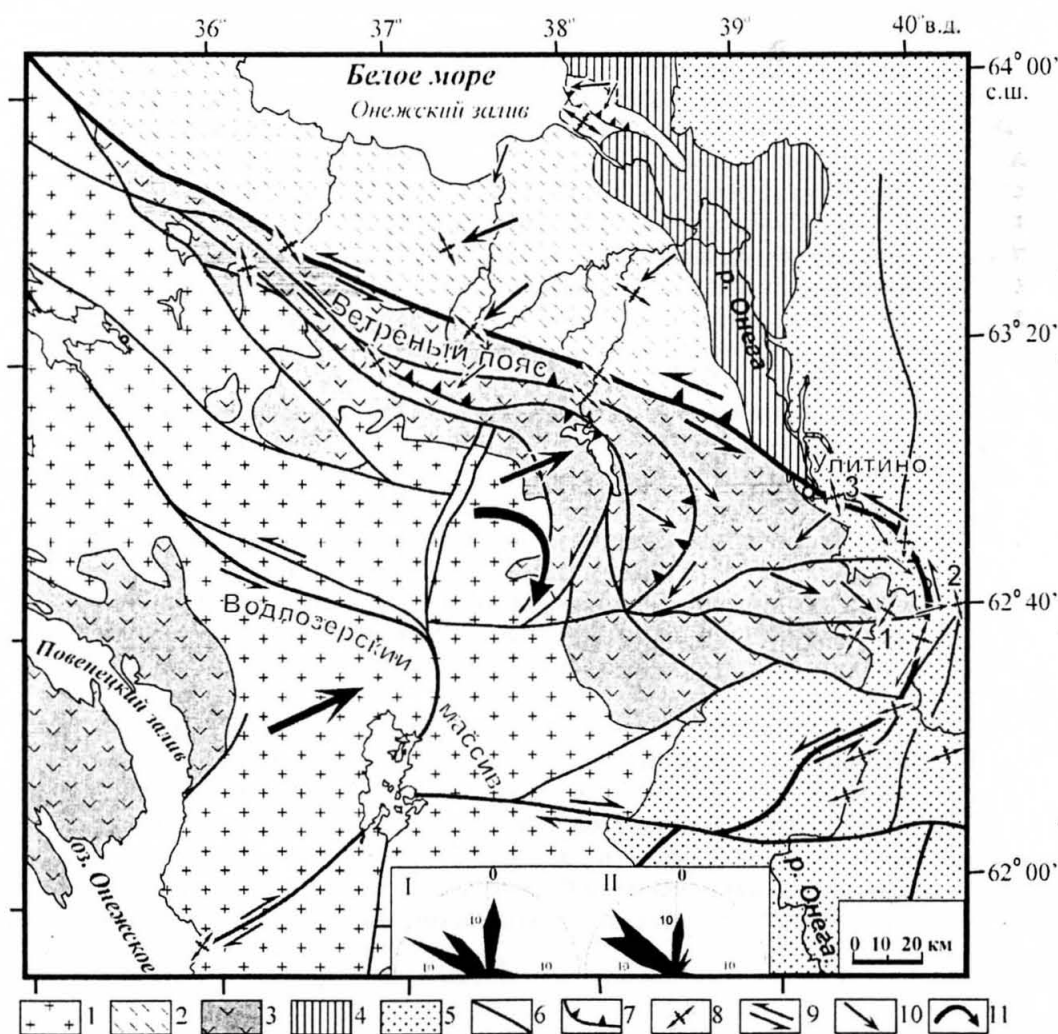


Рис. 3. Геолого-структурная схема юго-восточной окраины Балтийского щита:

1 — архейские гранит-зеленокаменные комплексы Водлозерского массива; 2 — архейские гранитоидные Беломорско-Лапландского пояса; 3 — палеопротерозойские вулканогенно-осадочные толщи; 4, 5 — осадочные комплексы чехла верхневендского (4) и палеопротерозойского (5) возраста; 6 — сдвиги и взбрососдвиги; 7 — надвиги; 8 — ориентировка главных осей деформации; 9, 10 — направления сдвиговых (9) и тангенциальных (10) перемещений; 11 — направление вращения. Розы-диаграммы показывают результаты статистической обработки замеров ориентировки разрывов и трещин в породах фундамента (I) и чехла (II)

го-геофизическим данным, на этом участке толщи беломорских гнейсов надвинуты на палеопротерозойские комплексы Ветреного пояса по зоне глубинного надвига, погружающегося на северо-восток (Государственная..., 2000б; Глубинное..., 2004). В современной структуре эти соотношения осложнены развитием крутопадающей зоны сдвиговых дислокаций, которая в широкой полосе (сотни метров) обуславливает развитие субвертикальных систем расщеливания и разлинзования пород и общее линейное очертание северо-восточной границы Ветреного пояса (рис. 3). Напротив, в пределах юго-западного борта этой структуры палеопротерозойские толщи испытывают дугообразные изгибы в плане, что наиболее ярко выражено в центральном и северо-западном сегментах пояса, испытавших заметный пережим за счет общего выдвигания Водлозерского массива на северо-восток (Колодяжный и др., 2007). Главная система дугообразных структур берет начало от дугообразного изгиба Повенецкого залива Онежского озера. Далее она прослеживается на северо-восток в изгибе тектонических ориентировок гнейсовидности и плоскостей разрывов Водлозерского массива и наконец проявляется в подковообразных в плане системах нарушений центральной части Ветреного пояса. На юго-восток от этой дугообразной структуры область выходов горных пород Ветреного пояса увеличивается в несколько раз, достигая ширины около 80 км. Здесь палеопротерозойские толщи участвуют в строении крупного горизонтального выступа фундамента (выступ Ветреного пояса) по направлению на юго-восток, в область развития отложений чехла Русской платформы (рис. 3).

В пределах Ветреного пояса обнажаются преимущественно палеопротерозойские коматиитовые базальты одноименной свиты, составляющие также значительную часть его разреза (Государственная..., 2000б). Данные образования подвержены зеленокаменным преобразованиям и неравномерно проявленному метаморфизму зеленосланцевой фации. Метаморфизм связан с зонами синметаморфических нарушений, в пределах которых отмечается расщеливание — разлинзование пород и появляются характерные динамометаморфические тектониты — актинолит-хлоритовые сланцы, кварц-хлоритовые метасоматиты, окварцованные, эпидотизированные и карбонатизированные катаклазиты и бластомилолиты. Обнаружение в зонах дислокаций динамометаморфических тектонитов зеленосланцевой фации и связанных с ними структур хрупкопластической деформации послужило основанием для выделения синметаморфических структурно-кинематических парагенезов свекофеннского этапа (1,9—1,8 млрд лет) (Колодяжный и др., 2007).

В целом тектонический стиль Ветреного пояса предопределяется системой синметаморфических разрывных нарушений, обрамляющих разноранговые линзовидные массивы относительно слабдеформированных пород. Нарушения прослеживаются на многие километры и имеют ширину от первых до нескольких сотен метров. Они построены из густо развитых пологих и крутопадающих разрывов высокого порядка, образующих линзовидно-петельчатые и ромбовидно-блоковые системы (рис. 4, А). Швы этих разрывов либо представлены узкими (1—5 см) зонками скалывания с просечками бластомилолитов, либо сопровождаются расщеливанием и тонким разлинзованием базитов с появле-

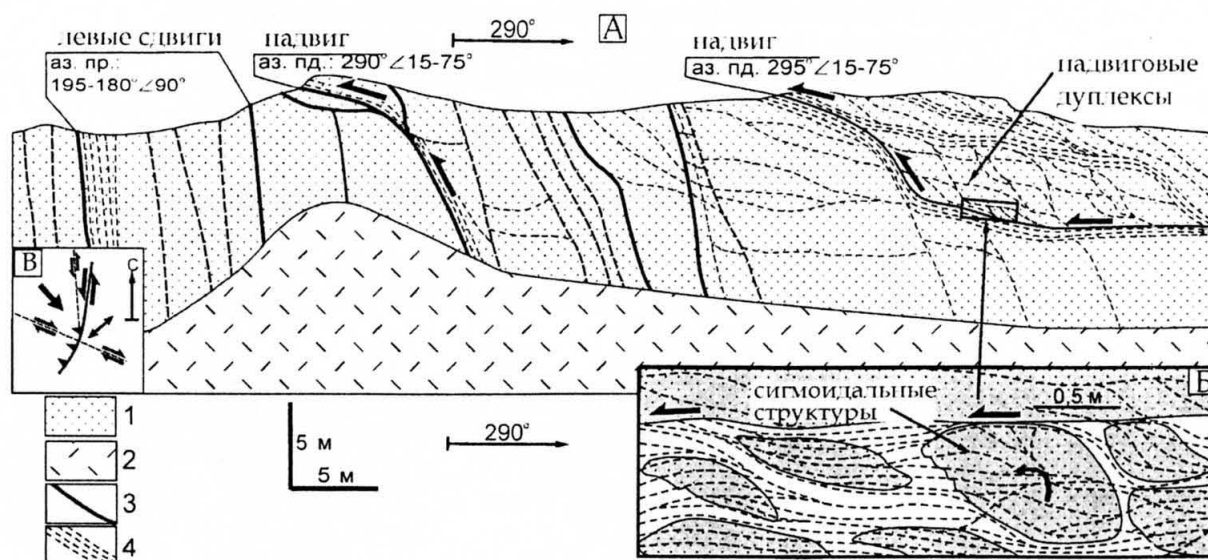


Рис. 4. А — геолого-структурный разрез, иллюстрирующий строение зоны сдвига-надвиговых дислокаций (район г. Мяндуха, местоположение — точка 1 на рис. 3); Б — фрагмент, иллюстрирующий строение зоны диагонального расщеливания в базитах;

В — схема, показывающая обобщенную кинематическую ситуацию в районе г. Мяндуха (вид в плане):

1 — коматиитовые базальты свиты Ветреного пояса; 2 — техногенная осыпь; 3 — разрывы; 4 — зоны расщеливания и трещиноватости. Структурные обозначения см. на рис. 1

нием динамосланцев актинолит-хлоритового состава. Рассланцевание в зонах нарушений нередко имеет диагональный характер по типу макроскопических С—S-структур, являющихся хорошими кинематическими индикаторами (рис. 4, Б). Подобного рода структуры проявлены и в микроскопическом масштабе (1—3 мм) и подчеркиваются ориентировкой чешуек хлорита и призмочек актинолита. Реликтовые фрагменты деформированной шаровой отдельности в зонах рассланцевания обычно имеют сигмоидальную форму, согласованную с характером перемещений (рис. 4, Б). В бортах разрывов высокого порядка базальты интенсивно разлинзованы и порой образуют системы сдвиговых и надвиговых дуплексов (рис. 4, А).

В разрезе поверхности нарушений высокого порядка часто имеют ступенеобразную морфологию (рис. 4, А). Изучение кинематических индикаторов показывает, что в крутых сегментах ступенеобразных нарушений перемещения носят взбрососдвиговый характер, а в пологих — сдвигонадвиговый и надвиговый. Несколько обособленно в разрезе выглядят крутопадающие разрывы высокого порядка, имеющие взбрососдвиговую составляющую перемещений. Их соотношения со ступенеобразными структурами двоякие: в одних случаях они срезают их, в других — подрезаются надвигами (рис. 4, А). Это позволяет рассматривать и те и другие нарушения в качестве сопряженных структур, образующих единый парагенез. При этом допускается, что в свекофенское время тектонические подвижки повторялись многократно в виде кинематических импульсов надвигового, сдвигового и комплексного сдвиговзбросонадвигового характера.

Суммирование структурно-кинематических данных на геолого-структурной схеме позволяет оценить общую динамическую обстановку проявления сдвигонадвиговых перемещений на обширной территории. Статистический анализ тектонических ориентировок плоскостей нарушений различного ранга показывает, что в пределах юго-восточной части структуры Ветреного пояса преобладают разрывы северо-западной, субмеридиональной и субширотной ориентировки (рис. 3, I). Направления перемещений вдоль сдвиговых и надвиговых нарушений сильно варьируют. Здесь было выявлено надвигание толщ на юго-запад, восток и юго-восток, а также на север. Сдвиговые составляющие перемещений вдоль различных ориентированных нарушений также весьма разнообразны. Зоны дислокаций, конформные внешнему контуру выступа Ветреного пояса, чаще характеризуются преобладанием левосдвиговых перемещений. Относительно выдержанный кинематический стиль был отмечен в северо-западной части Ветреного пояса, где наблюдается его существенное сужение. Здесь резко преобладают структуры, связанные с левосдвиговыми перемещениями вдоль зон

северо-западного простирания; отмечаются также фрагменты структур надвигания по направлению на юго-запад и северо-восток (рис. 3).

В целом можно отметить, что область юго-восточного окончания структуры Ветреного пояса характеризуется сложной “коллажной” тектоникой и различно ориентированными направлениями перемещений тектонических линз и пластин. По направлению на северо-запад пояс сужается, структуры становятся четко линеаризованными и более единообразными в кинематическом отношении.

Соотношение структурных парагенезов фундамента и чехла

Во многих зонах тектонических нарушений, пересекающих породы фундамента, развиты более поздние “сухие” тектониты без существенных минеральных преобразований. К их числу можно отнести какериты, частые системы сколов, катаклазиты и брекчии, связанные с постметаморфическими хрупкими деформациями. Во многих случаях структуры хрупкого разрушения пространственно наследуют плоскости синметаморфических разрывов. Время формирования этих структурных парагенезов в большинстве случаев не установлено. При использовании ряда косвенных данных (корреляционных, сквозное проникание в осадки чехла) было отмечено, что некоторые структуры этого типа формировались синхронно со структурными преобразованиями осадочного чехла.

Наиболее информативные материалы, характеризующие соотношения структурных парагенезов фундамента и чехла, были получены для области юго-восточного окончания кряжа Ветреного пояса, где породы фундамента погружаются под чехол Русской платформы (рис. 3). В качестве примера рассмотрим материалы, полученные в районе Булатовского карьера (рис. 3, участок 2). Карьер вскрывает базальты свиты Ветреного пояса и перекрывающие их с разрывом и базальными конгломератами в основании осадки касимовского яруса верхнего карбона. Палеопротерозойские вулканиты пронизаны системой синметаморфических сдвиговых и сдвигонадвиговых ступенеобразных нарушений, во многом аналогичных рассмотренным выше. Практически все эти структуры, маркируемые тектонитами зеленосланцевой фации метаморфизма, подновлены постметаморфическими зонами трещиноватости, катаклаза и брекчирования. Ряд нарушений сдвигового и надвигового типа отчетливо прослеживается в осадках палеозойского чехла. Часто наблюдаются малоамплитудные надвиги палеопротерозойских базитов на конгломераты верхнего карбона (рис. 5, А). При этом во фронте надвиговых чешуй отмечается трапециевидная отдельность, плавно переходящая в шлейф обломков базитов такой же формы в составе базальных конгломератов. Трансгрессивно залегающие выше органогенно-обломочные известня-

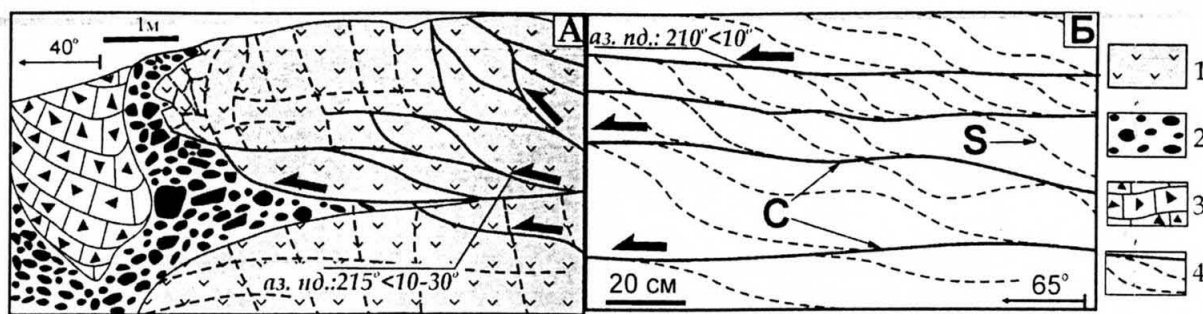


Рис. 5. А — вид в разрезе надвиговой структуры, проникающей из пород фундамента в осадки чехла (Булатовский карьер (местоположение — точка 2 на рис. 3)); Б — сквозные (фундамент — чехол) С—S-мезоструктуры в известняках касимовского яруса верхнего карбона:

1 — палеопротерозойские базальты; 2—4 — базальные конгломерато-брекчии (2), брекчированные (3) и рассланцованные (4) известняки верхнего карбона. Структурные обозначения и буквы на схемах см. на рис. 1

ки касимовского яруса также нередко участвуют в строении надвиговых структур, испытывая сильное брекчирование и рассланцевание (рис. 5, А). В целом такого рода структуры являются результатом следующих последовательных событий: 1) конседиментационного надвижения базальтов, в процессе которого они испытывали брекчирование и обрушение в локальные впадины, где накапливались конгломерато-брекчии; 2) трансгрессии морского бассейна и формирования сплошного чехла карбонатных осадков; 3) ремобилизации надвиговых структур в породах фундамента, обусловившей постседиментационные дислокации в породах чехла. Проникание сдвиговых и надвиговых дислокаций из пород фундамента в осадки чехла часто приводит к формированию в пределах последних макроскопических С—S-структур, кинематически согласующихся с характером перемещений в породах фундамента (рис. 5, Б).

Таким образом, некоторая часть постметаморфических структур фундамента имеет сквозной характер и формировалась унаследованно за счет ремобилизации более ранних нарушений, последовательно проникая в осадки чехла на различных стадиях их накопления и последующей эволюции.

Обрамляющие выступ Ветреного пояса венд-палеозойские толщи осадочного чехла пронизывают малоамплитудные разрывные нарушения. Они хорошо дешифрируются и контролируют современные морфоструктуры: русла водотоков, цепочки озер и болот, пологие ступени рельефа и границы резкой смены ландшафтов. По этим признакам наиболее отчетливо выражена система дислокаций, приуроченных к центральной части долины р. Онеги и образующих дугообразную структуру, огибающую выступ Ветреного пояса (рис. 3). Это нарушение было заверено в ряде береговых обнажений р. Онеги. Здесь были отмечены зоны брекчирования, трещиноватости и рассланцевания осадков чехла, сопровождающиеся вторичными метаболитическими преобразованиями пород. Малоамплитудные левосдвиговые

перемещения были отмечены на протяжении всего дугообразного сегмента данной зоны (рис. 3).

Рассматриваемое нарушение наиболее отчетливо выражено в северной части его дугообразного изгиба, в районе пос. Улитино (рис. 3, участок 3). Здесь обнажаются разделенные поверхностями несогласий отложения верхнего венда (алевролиты и аргиллиты), нижнего карбона (базальные конгломераты и песчаники) и четвертичного периода (песчано-гравийные суглинки). В пределах одних обнажений слои залегают субгоризонтально и не имеют существенных признаков проявления деформаций, но в зоне разрыва, приуроченного к руслу реки, ситуация меняется (рис. 6). Здесь слои наклонены под

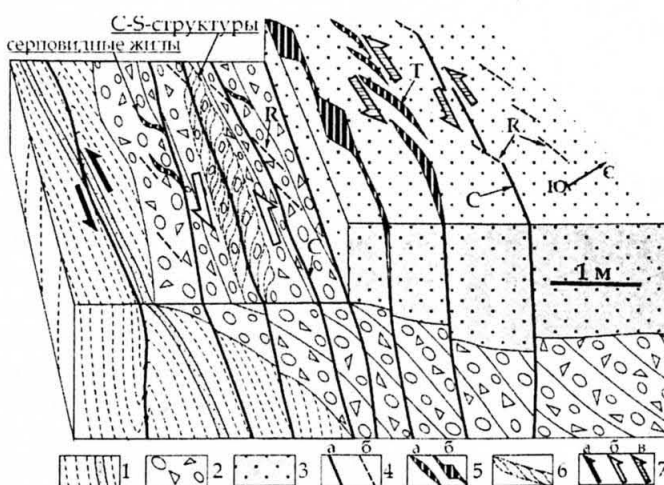


Рис. 6. Блок-диаграмма, иллюстрирующая структурные соотношения пород верхнего венда, нижнего карбона и четвертичных отложений в зоне сдвиговых дислокаций (местоположение — точка 3 на рис. 3):

1 — глинистые сланцы, алевролиты и песчаники верхнего венда; 2 — брекчированные и окварцованные конгломераты нижнего карбона; 3 — песчано-гравийные отложения и суглинки четвертичного возраста; 4 — разрывы (а), системы трещин и сланцеватости (б); 5 — трещины (а) и полости (б) отрыва; 6 — зоны рассланцевания с С—S-структурами; 7 — направления перемещений в осадках венда (а), карбона (б) и четвертичных породах (в). Буквы на схеме: С — главные сдвиги, R — сколы Риделя, Т — трещины отрыва

различными углами, образуют мелкие и относительно крупные приразломные складки, пронизаны зонами брекчирования и катаклаза, рассланцевания и развития бластомилонитов с С—S-структурами (в осадках венда и карбона), секутся сдвигами (С), оперяющимися сколами Риделя (R) и трещинами отрыва (Т) (в четвертичных отложениях) (рис. 6). Разновозрастные осадки разделены поверхностями угловых и структурных несогласий. Несмотря на то что разрывные нарушения носят сквозной характер, в различных по возрасту осадках они выражены по-разному. Наиболее тектонизированы осадки венда, в меньшей степени — породы карбона, и минимально изменены четвертичные отложения. Кинематические индикаторы во всех породах указывают на проявление левосдвиговых перемещений, длительно развивавшихся в нижних толщах и проявившихся одноактным импульсом в четвертичных отложениях. Например, структуры отрыва в конгломерато-брекчиях карбона заполнены жильным веществом и имеют серповидный облик, что указывает на их многократное вращение и подновление (рис. 6). Аналогичные структуры в четвертичных породах представлены зияющими кулисно ориентированными полостями без последующих осложнений повторными тектоническими подвижками. Все эти данные показывают, что структуры чехла формировались до и после накопления осадков нижнего карбона, а также были подновлены на неотектоническом этапе.

От пос. Улитино рассмотренная выше дугообразная зона нарушений прослеживается на северо-запад в породы фундамента, где сливается с линейной левосдвиговой зоной, разделяющей структуры Ветреного и Беломорско-Лапландского поясов (рис. 3). В докембрийских комплексах зона выражена крутопадающими системами рассланцевания и разлинзования, маркируется свекофеннскими динамометаморфическими тектонитами. Широкое проявление структур хрупкой деформации указывает на явное подновление данной зоны. Ремобилизованные нарушения выражены и в рельефе: оконтуривают скальные гряды и уступы, на поверхности которых видны свежие зеркала скольжения с признаками левосдвиговых смещений. Суммируя эти наблюдения, можно отметить, что рассматриваемое "сквозное" нарушение заложилось в конце палеопротерозоя в качестве левого сдвига и продолжало развиваться в тех же кинематических условиях в палеозое и на неотектоническом этапе. Статистический анализ тектонических ориентировок крутопадающих нарушений в осадках чехла, обрамляющих выступ Ветреного пояса, показывает существенное преобладание систем разрывов северо-западной и субмеридиональной ориентировки (рис. 3, II). Во многом аналогичные результаты были получены для пород фундамента (рис. 3, I).

Структурно-кинематическая эволюция выступа Ветреного пояса

Рассмотренные в работе материалы показывают, что формирование современной структуры юго-восточной окраины Балтийского щита обусловлено с чрезвычайно длительным развитием структур фундамента и чехла, связанных преимущественно с горизонтальными перемещениями. Дислокации имели рассредоточенный (диссипативный) характер и охватывали большие массивы пород, что свидетельствует о проявлении процессов объемного (3D) тектонического течения. Тектоническая эволюция этих структур имела преемственно-унаследованный характер: структуры, сформировавшиеся на свекофеннском этапе, испытывали периодическую ремобилизацию на платформенной стадии эволюции ВЕП. При этом помимо чисто геометрической унаследованности древнего структурного плана имело место и периодическое повторение определенных кинематических тенденций.

Имеющиеся материалы показывают, что в свекофеннское время в результате встречных перемещений кристаллических масс Водлозерского массива и Беломорско-Лапландского пояса расположенные между ними вулканогенно-осадочные толщи Ветреного пояса испытали тектоническое сжатие. При этом Водлозерский массив развивался на фоне сочетания двух кинематических факторов — вращения по часовой стрелке и латерального перемещения на северо-восток (Колодяжный и др., 2007; Пржиялговский, Терехов, 1984). Это обуславливало проявление обстановки левосдвиговой транспрессии в пределах Ветреного пояса, в условиях которой палеопротерозойские толщи испытывали тенденцию к выжиманию и тектоническому течению в юго-восточном направлении. В результате этого в северо-западной части пояса его структуры интенсивно сжаты и линейаризованы, а по направлению на юго-восток плавно переходят в широкую область коллажной тектоники. Устойчивые левосдвиговые перемещения вдоль зоны, ограничивающей Ветреный пояс с северо-востока и образующей дугообразный изгиб в его юго-восточной части, согласуются с тектоническим выдвиганием геомасс на юго-восток и с тенденцией общего вращения по часовой стрелке (рис. 3).

Такая кинематическая ситуация периодически повторялась и на более поздних платформенных стадиях эволюции данной области, что в конечном итоге отразилось в особенностях строения современной границы Балтийского щита и Русской платформы. Крупный горизонтальный выступ фундамента (выступ Ветреного пояса), осложняющий эту границу, является результатом внутripлатформенного возрождения кинематических тенденций свекофеннского этапа. На протяжении фанерозоя тектонические движения аналогичным образом были

связаны с латеральным выдвиганием геомасс на юго-восток при одновременном вращении по часовой стрелке. По всем отмеченным выше структурным признакам выступ Ветреного пояса может рассматриваться в качестве особой категории структур внутриплитного горизонтального течения, названных М.Г. Леоновым плитопотоками (Леонов, 2008). Проявление этой структуры в северо-восточной части ВЕП не является исключительным явлением. Во второй статье будет рассмотрена аналогичная Двинско-Сухонская структура, развитая на юго-восток от выступа Ветреного пояса.

Выводы

1. В пределах юго-восточной краевой части Балтийского щита выявлены сквозные (фундамент — чехол) долгоживущие структурные парагенезы, кото-

рые формировались и периодически подновлялись, по крайней мере, с палеопротерозоя до неотектонического этапа развития территории.

2. В свекофенское время в результате встречных перемещений образований Водлозерского массива и Беломорско-Лапландского пояса расположенные между ними вулканогенно-осадочные толщи Ветреного пояса испытали тектоническое сжатие и выжимание в юго-восточном направлении. Сходная кинематическая тенденция проявилась и на более поздних платформенных этапах эволюции данной территории. В конечном итоге это отразилось в особенностях строения выступа Ветреного пояса, образующего плитопоток пород фундамента, испытавших латеральное тектоническое течение на юго-восток, в область развития осадочного чехла Русской платформы.

ЛИТЕРАТУРА

- Балуев А.С. Геодинамика рифейского этапа эволюции северной пассивной окраины Восточно-Европейского кратона // Геотектоника. 2006. № 3. С. 23—38.
- Гарецкий Р.Г., Нагорный М.А. Главные этапы развития Московской синеклизы // Литосфера. 2006. № 2. С. 14—24.
- Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Под ред. Н.В. Шарова. Петрозаводск: Кар. НЦ РАН, 2004. 353 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист О-37 (38) (Нижний Новгород). Объяснит. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000а. 261 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист Р-(35)-37. Петрозаводск. Объяснит. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000б. 322 с. + 1 вкл.
- Зыков Д.С., Колодяжный С.Ю., Балуев А.С. Признаки горизонтальной неотектонической подвижности фундамента в районе Беломорья // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2008. Т. 83, вып. 2. С. 15—25.
- Колодяжный С.Ю. Структурно-кинематическая эволюция юго-восточной части Балтийского щита в палеопротерозое. М.: ГЕОС, 2006. 332 с.
- Колодяжный С.Ю. Структурно-кинематические парагенезы в осадках фанерозойского чехла Среднерусской зоны дислокаций // Геотектоника. 2010. № 2. С. 56—76.
- Колодяжный С.Ю., Зыков Д.С., Леонов М.Г. Структурно-кинематические парагенезы фундамента и чехла юго-восточной окраины Балтийского щита // Геотектоника. 2007. № 6. С. 3—22.
- Копп М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2005. 340 с.
- Крапивнер Р.Б. Безкорневые неотектонические структуры. М.: Недра, 1986. 204 с.
- Кропоткин П.Н., Ефремов В.Н. Тектонические напряжения на платформах и глобальные вариации сейсмичности // Геотектоника. 1993. № 5. С. 34—36.
- Леонов М.Г. Тектоника консолидированной коры. М.: Наука, 2008. 457 с.
- Леонов Ю.Г. Тектонические критерии интерпретации сейсмически отражающих горизонтов в нижней коре континентов // Геотектоника. 1993. № 5. С. 4—15.
- Леонов Ю.Г. Напряжения в литосфере и внутриплитная тектоника // Геотектоника. 1995. № 6. С. 3—21.
- Лукьянов А.В. Структурные проявления горизонтальных движений земной коры. М.: Наука, 1965. 212 с.
- Нагорный М.А. Тектоника Вольно-Среднерусской системы прогибов. Минск: Наука и техника, 1990. 106 с.
- Присяжловский Е.С., Терехов Е.Н. Механизм образования некоторых древних кольцевых структур Балтийского щита // Эксперимент и моделирование в геологических исследованиях. Новосибирск: ИГиГ, 1984. С. 46—54.
- Сим Л.А. Новейшие поля напряжений Восточно-Европейской платформы // Литосфера. 1996. № 5. С. 100—107.
- Сыстра Ю.И. Тектоника карельского региона. СПб: Наука, 1991. 176 с.
- Чамов Н.П. Тектоническая история и новая модель формирования Среднерусского авлакогена // Геотектоника. 2005. № 3. С. 3—22.
- Bogdanova S.V., Pashkevich I.K., Gorbachev R., Orlyuk M.I. Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundaries in the basement of the East European Craton: geology and geophysics // Tectonophysics. 1996. Vol. 268. P. 1—21.
- Hanmer S., Passchier C. Shear-sense indicators: a review // Geol. Surv. Canada. 1991. Pap. 90—17. 72 p.
- Hatcher R.D. Structural geology: principles, concepts, and problems. New Jersey: Prentice-Hall. 1995. 511 p.

LATERAL FLOW STRUCTURES OF NORTHEASTERN PART OF EAST EUROPEAN PLATFORM.

1. General geological features, structural parageneses of basement

S. Yu. Kolodyazhny

Long-lived structural and kinematic parageneses were established in the southeastern marginal part of the Baltic Shield on the basis of structural studies. These parageneses were formed and periodically rejuvenated from at least Paleoproterozoic until Neotectonic stage of the evolution of the territory. At the end of Paleoproterozoic the rocks of the Vetreny Belt underwent tectonic stacking as a result of the countermotion of the crystalline masses of the Vodlozero Massif and the Belomorian-Lapland Belt. The clockwise rotation and lateral displacement of the Vodlozero Massif to the northeast provided the left-lateral transpression of the Vetreny Belt. Under these conditions the Paleoproterozoic sequences experienced squeezing in the southeastern direction. This kinematic tendency was retained at the subsequent platform evolutionary stages and eventually was recorded in the structure of the Vetreny Belt which perform the plate-flow structure. The latter is a result of lateral movements of basement rocks to the southeast in the area of the Russian Plate cover rocks.

Key words: basement, structure, kinematics, lateral flow, Baltic Shield, East European Platform.

Сведения об авторе: Колодяжный Сергей Юрьевич — канд. геол.-минерал. наук, науч. сотр. ГИН РАН; *e-mail:* kolod@ginras.ru