

УДК 551.924

ПРИЗНАКИ ВРАЩЕНИЯ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ПОЗДНИХ ЭТАПАХ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Д.С. Зыков

Геологический институт РАН, Москва

Поступила в редакцию 10.07.13

Крупные неоднородности фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в целом образуют вихревую структуру из структурно-тектонических дуг, свидетельствующую о вращении протоплатформы по часовой стрелке во время ее становления. Деформации чехла и морфоструктурные рисунки в районе этих дуг показывают, что на стадии плитного этапа развития ВЕП, включая неотектонический этап, происходит тектоническая реактивация, свидетельствующая о возобновлении вращения платформы, которое также происходит в основном по часовой стрелке. Однако, картина деформаций, выявляемых в пределах ВЕП, является сложной, и не может быть объяснена только процессами однонаправленного вращения. Видимо, оно происходит на фоне других тектонических процессов.

Ключевые слова: геотектоника, платформенный чехол, тектоническое вращение, Восточно-Европейская платформа.

Структура кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в основных чертах создана в архей-протерозойские эпохи тектогенеза. В архейское время был создан каркас фундамента, который очень генерализованно можно представить в виде чередования гетерогенных массивов ранней консолидации и разделяющих их исходно более подвижных складчатых поясов. В протерозойское время на этот каркас наложилась система палеорифтов, отчасти наследующих более древнюю структуру. Анализ магнитных и гравитационных аномалий показывает, что пояса и отчасти массивы в плане имеют изогнутую вытянутую форму, их границы связаны с разрывными нарушениями. Сопоставление этих структурных неоднородностей в плане позволяет обобщенно выделить в фундаменте серию дуг, вложенных друг в друга и совместно создающих общую «вихревую» структуру (Валеев, 1978; Международная..., 1981, 1996).

Анализ характера загибов вытянутых структур позволил исследователям предположить, что вихревая структура в целом образовалась при вращении архейской протоплатформы (отвечающей современной ВЕП) по часовой стрелке (Валеев, 1978). Надо отметить, что по другим признакам для более поздних этапов реконструировалось и иное направление вращения (Колодяжный, 2003; Полетаев, 2000; Чамов, 2005).

Вихревые структуры сохранились в виде структурных неоднородностей в фундаменте до настоящего времени.

Учитывая современные взгляды о значительной активности платформ на плитном этапе развития, о широкой активизации имеющихся неоднородностей в тектонической истории земной коры, о случаях унаследованного развития геологических структур (Зыков, 2001; Колодяжный, 2010; Копп, 2004; Леонов,

1993; Леонов и др., 1998), необходимо рассмотреть (на примере ВЕП) еще один сравнительно мало изученный аспект подвижности платформ — ее вращение, установить признаки этого вращения, выявить роль структурных неоднородностей фундамента в реализации этого процесса.

Решению этих вопросов посвящена данная статья. Основной упор в ней сделан на неотектонический этап плитного развития ВЕП, поскольку это позволило применить такое средство, как морфоструктурный анализ. Отчасти приведены вероятные признаки проявлений вращения для более раннего времени без точного датирования. Речь идет о следах деформаций, сохранившихся в чехле платформы.

Задача достаточно сложна. Согласно современным взглядам, имеющим дискуссионный характер, ВЕП, у которой есть и собственные источники тектогенеза, в мезо-кайнозойское время подвергалась воздействию разных внешних геодинамических систем. В частности, для северной части ВЕП предполагают воздействие раскрывающегося Северо-Атлантического бассейна (Копп, 2004; Юдахин и др., 2003), для южной — воздействие Аравийского индентора (Копп, 2004). Известны взгляды и о влиянии на ВЕП со стороны Уральского и Карпатского орогенов (Юдахин и др., 2003).

Происходящее воздействие, каковы бы ни были его причины и механизм, должно реализовываться в деформациях, накладывающихся друг на друга и создающих сложный структурный рисунок. Вращение платформы в целом лишь одна из вероятно работающих геодинамических систем на общем сложном тектоническом фоне. Поэтому искать признаки этого вращения можно только целенаправленно, выделяя их на общем фоне структурных и морфоструктурных проявлений.

В работе анализу подвергнута система структурно-тектонических дуг, сохранившаяся в фундаменте ВЕП от ранних этапов ее развития и, по мнению автора, являющаяся индикатором исследуемых тектонических процессов.

Методика

Основой методического подхода является совместное исследование геологической структуры и неотектонически предопределенного рельефа поверхности. Получившиеся в результате закономерные сочетания рельефа и структуры дают возможность выделять развивающиеся и неразвивающиеся в новейшее время структуры земной коры (Костенко и др., 1999). Для выявления горизонтального компонента новейших движений рисунок морфоструктур в плане сопоставляется с общеизвестными тектонофизическими деформационными моделями (Зыков, 2001).

При составлении схемы структурно-тектонических линеаментов фундамента (для плитной части ВЕП), отражающих, скорее всего, крупные зоны разрывов, разделяющие неоднородности фундамента, оставшиеся со времени ее становления, применялось дешифрирование магнитных аномалий (Карта аномального..., 2004) и поверхности рельефа фундамента (Международная..., 1981). Для Балтийского щита выносились крупные разрывные зоны.

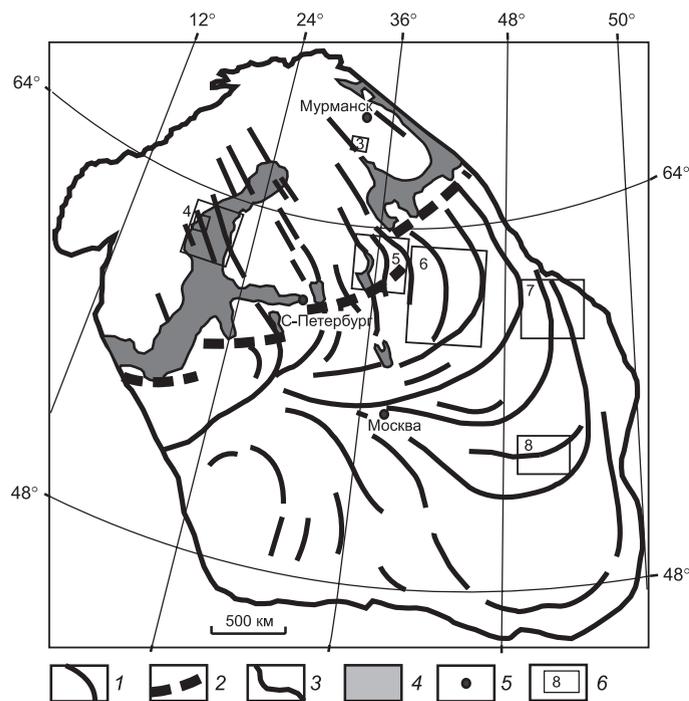


Рис. 1. Структурно-тектонические линеаменты поверхности фундамента ВЕП и их связь с водоемами окраины Балтийского щита: 1 — структурно-тектонические линеаменты; 2 — условные линии, подчеркивающие юго-восточные окончания депрессий, расположенных по периметру Балтийского щита; 3 — контуры ВЕП; 4 — основные акватории в пределах ВЕП; 5 — контуры российских городов; 6 — расположение участков детальных исследований, номера соответствуют номерам рисунков

Фактический материал

Для выявления признаков вращения ВЕП были рассмотрены структурные и морфоструктурные особенности северной и восточной ее частей (рис. 1). Полученная картина была дополнена данными, полученными при исследовании локальных участков.

Чтобы уточнить характер делимости фундамента, составлена схема его основных структурно-тектонических линеаментов. Их расположение показывает, что рисунок изогнутых структурных дуг типичен в основном для плитной части ВЕП. В северной части, в районе Балтийского щита, они прямолинейны и приобретают северо-западное направление.

В области сочленения плитной части ВЕП и Балтийского щита эти линеаменты пересекаются с системой разрывов (циркумбалтийской), обрамляющей по дуге край щита (Юдахин и др., 2003). К пересечению этих двух систем приурочен ряд новейших грабенов (Кандалакшский, Ладожский, Онежский и т.п.).

Распределение морфоструктур в пределах циркумбалтийского пояса показывает, что понижения рельефа, маркируемые по границе щита поясом озер и морских заливов (Белое море, Онежское, Ладожское, Чудское, Псковское озера, Рижский залив и т.д.), не образуют в плане цепь единого простираения. Для иллюстрации этого положения на рис. 1 и 2, А специальными линиями подчеркнуты юго-восточные окон-

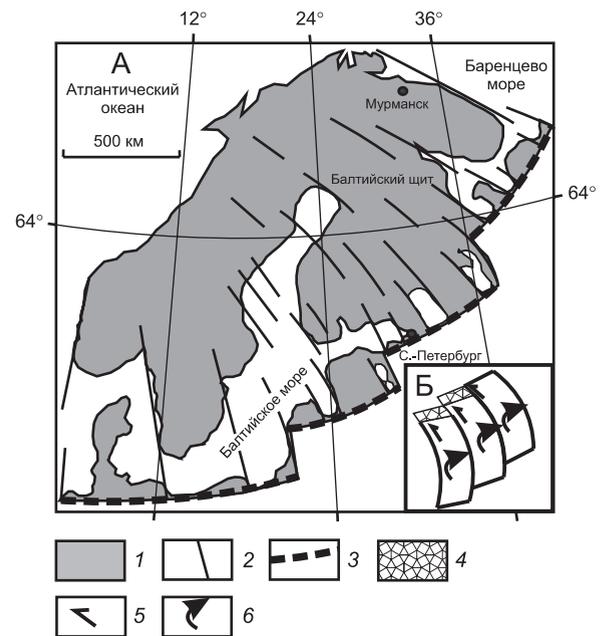


Рис. 2. Признаки вращения ВЕП. А — схема, подчеркивающая ступени цепи водоемов на границе Балтийского щита и их привязку к структуре; Б — модель смещения и поворота блоков: 1 — территории, расположенные севернее цепи водоемов (в основном р-н Балтийского щита); 2 — морфоструктурные неоднородности фундамента, имеющие северо-западную ориентировку; 3 — условные линии, подчеркивающие юго-восточные окончания водоемов; 4 — расположение областей растяжения на модели; 5 — направление смещения на границах блоков на модели; 6 — направление поворота блоков на модели

чания водоемов. Эти линии носят условный характер. Их можно было бы провести по наиболее глубоким частям водоемов или по их северо-западным окончаниям. В любом случае они высвечивают важную особенность: единая цепь разбивается на отрезки, объединяющие группы по 2—3 водоема (рис. 1 и 2, А). Эти отрезки в плане образуют ряд ступеней, каждая из которых отделена от соседней уступом, смещающим фрагменты общей цепи. Длина отрезков составляет сотни километров, амплитуда смещения — около 100 км. Внешний вид ступеней отвечает повторяющемуся левому смещению.

Несмотря на всю условность подобного геоморфологического обоснования ступеней с использованием окраин водоемов, расположенных на разной высоте и по-разному заполненных водой, подобный подход может быть применен для ориентировочных построений, так как высвечивает яркие реально существующие особенности морфоструктуры.

Сопоставление границ ступеней с системой структурных линеаментов, переходящих с Балтийского щита на Русскую плиту, показывает, что они хорошо сочетаются друг с другом. По внешним признакам можно было бы предположить, что ступени обусловлены левыми смещениями по разрывам, соответствующим линеаментам, однако огромные амплитуды заставляют отнестись к этому с осторожностью. По всей видимости, это результат совместного действия нескольких возможных процессов. Рассмотрим наиболее вероятные из них.

Появление новейших депрессий — грабенов вероятнее всего связано с растяжением вдоль окраины Балтийского щита, причем некоторые из них наследуют аналогичные депрессии, существовавшие в этих же местах в протерозойское время (например, Кандалакшский новейший грабен наследует нижнепротерозойский палеорифт, а новейшая депрессия Онежского озера наследует область нижнепротерозойского прогибания).

Проявление больших видимых амплитуд смещения возможно за счет нескольких причин. Прежде всего, возможны проявления реальных смещений, происшедших за длительный период времени плитного развития ВЕП. Особенно это может касаться неотектонического этапа, когда тектонические движения могли ускоряться за счет своеобразной «прокачки» горных масс гляциоэвстатическими движениями и ослабления их общей прочности (Mogner, 2003).

Другой причиной может быть локальный поворот блоков субстрата. В исследуемом районе фундамент отчетливо нарезан двумя почти ортогонально пересекающимися системами разрывов (северо-западной, продолжающей дуги, и северо-восточной, циркумбалтийской). В условиях такой делимости даже незначительная подвижность субстрата может приводить к синхронному повороту блоков по системе «домино» и как следствие к образованию зон растяжения (маркируемых депрессиями) у торцов блоков (Freund, 1970)

(рис. 2, Б). Наблюдаемые левые смещения цепи депрессий соответствуют поворотам блоков по часовой стрелке, что укладывается в схему общего поворота ВЕП по часовой стрелке. Что особенно важно, при реализации подобного механизма не обязательно полное соответствие морфоструктурных проявлений реальным амплитудам смещения. Торцы поворачивающихся блоков могут исходно закладываться с некоторым шагом по системе существовавших ранее неоднородностей, и в этом случае образование депрессий показывает только тенденции тектонического развития.

Соотношение всех этих причин не совсем понятно, однако можно с уверенностью утверждать, что цепь водоемов в целом явно имеет новейший характер. Поэтому вполне вероятно, что не только в образовании каждого конкретного водоема, но и в их взаимном расположении участвовали неотектонические движения. Вопрос о наличии левых смещений по разрывам за плитное время развития ВЕП (включая новейшее время) нуждается в дополнительных обоснованиях, которые и будут приведены ниже.

Можно обобщить, что выделяемые ступени рельефа (в плане) маркируют зону сочленения Русской плиты и Балтийского щита, на которую совместно оказывает влияние ряд факторов, таких, как растяжение вдоль окраины Балтийского щита, приводящее к образованию депрессий-грабенов, наличие неоднородностей фундамента, оставшихся от предыдущих эпох тектогенеза; однонаправленные сдвиговые перемещения по структурным неоднородностям, задающие общий ступенчатый лейтмотив структуры; поворот блоков по системе домино и образование областей растяжения у торцов блоков.

Для выявления признаков активности структурных линеаментов, секущих ступенчатую морфоструктуру в плитное время и в новейший этап, обратимся к исследованиям детальных участков. Приведем некоторые примеры.

Территория Балтийского щита характеризуется на большей своей части структурно-денудационным расчлененным рельефом, образовавшимся за счет выхода на поверхность метаморфических пород кристаллического основания, имеющих обычно архейско-протерозойский возраст. Местами эти породы перекрыты маломощным чехлом четвертичных отложений, в основном связанных с оледенениями.

В юго-западной части Мурманской области, в районе оз. Чумбо, выделяются два крупных разрыва общего северо-западного простирания (рис. 3). Расстояние между ними примерно 2—5 км, их видимая длина превышает первые десятки километров. Можно предположить, что разрывы были заложены еще при первичной консолидации земной коры, однако их влияние на ландшафт свидетельствует об их значительной голоценовой активности (Зыков, 2001).

Оба разрыва пересекаются озом, имеющим общее северо-северо-западное простирание. Оз представлен

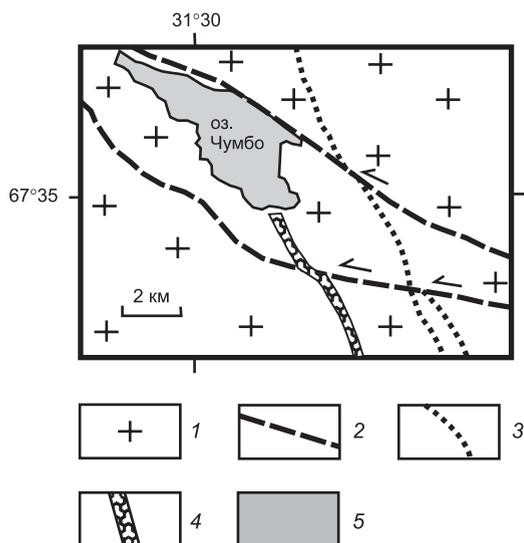


Рис. 3. Признаки послеледниковых смещений по крупным разрывам на юге Мурманской области:

1 — архейские кристаллические породы; 2 — разрывы; 3 — озы; 4 — долина послеледникового стока; 5 — водоем

узкой протяженной аккумулятивной грядой длиной в несколько километров, хорошо выраженной в рельефе. В районе пересечения с разрывом, расположенным севернее, оз образует левое колено с амплитудой в десятки метров.

У другого разрыва, расположенного южнее, оз разветвляется. Одна его ветвь, видимо более ранняя, образует левое колено с амплитудой в первые сотни метров. В 2,5 км к северо-западу от этого места разрыв пересекается заброшенной долиной послеледникового стока, представляющей собой вытянутое узкое понижение в рельефе. В месте пересечения эта долина также делает коленовидный левый изгиб, амплитуда которого совпадает с амплитудой оза, описанного выше. Таким образом, вдоль одного и того же разрыва наблюдается дважды повторяющееся с одинаковой амплитудой коленовидное смещение поздне- и послеледниковых форм рельефа, что свидетельствует о левых смещениях вдоль разрыва в поздне- и послеледниковое время.

В описанном случае вызывают сомнение большие амплитуды смещения за сравнительно короткий промежуток времени. Создается впечатление, что они кажущиеся. В связи с этим можно вспомнить, что существуют взгляды о чрезвычайно высокой подвижности пород щита сразу после ухода ледника. В это время скорости подъема, как и скорость движения по отдельным разрывам, могли составлять до десятков сантиметров за год (Merner, 2003). Нельзя исключить также и сейсмогенные подвижки (Никонов, 1977; Merner, 2003).

На Восточном побережье Ботнического залива, на территории Швеции, примерно в 300 км к северу от г. Стокгольма, расположен район, в пределах которого находится широкое поле послеледниковых палеосейсмодеформаций (Merner, 2003).

В прибрежной части территории выделяется несколько морфоструктурных элементов (рис. 4, А). В средней части изученного района расположена прямолинейная эрозионная долина, часть которой заполнена морскими водами и образует узкий залив. Долина имеет северо-западное простирание и под острым углом врезаются в берег, который в этих местах имеет общее субмеридиональное направление. В основании этой морфоструктуры лежит разрывное нарушение, препарированное в рельефе агентами денудации в новейшее время.

Южнее этой долины расположен участок побережья, характеризующийся повышенной изрезанностью береговой линии и значительным проникновением фиордов в глубь суши, а также общим невысоким рельефом. Дешифрирование дистанционных данных и полевые наблюдения показывают, что борта фиордов приурочены к зонам трещиноватости. Морфоструктурно весь этот участок может быть отнесен к области относительного растяжения и новейшего грабенообразования.

Севернее долины, заложенной по разрыву, выделяется вдающийся в акваторию Ботнического залива полуостров, маркируемый сравнительно высокими возвышенностями. В основании возвышенностей наблюдаются надвиги, фронтальные части которых выражены в виде уступов. Поскольку уступы не обусловлены литологически, надвиги можно считать рельефообразующими, неотектоническими. Судя по наличию надвиговых морфоструктур, этот участок отвечает области относительного сжатия в неотектонический этап. Юго-восточное направление падения сместителей (углы падения 25—30°) свидетельствует о северо-западной, вдоль разрыва, ориентировке оси сжатия.

Морские сейсмостратиграфические исследования показали, что в дне Ботнического залива существует система разрывов, выраженных как в рельефе коренных пород, так и в поверхности четвертичных отложений (Merner, 2003) (рис. 4, Б). Сравнение этой системы с исследованным районом на побережье показывает, что долина, препарирующая разрыв и врезающаяся в берег, находится непосредственно на продолжении протяженного разрыва, секущего дно Ботнического залива в северо-западном направлении.

Таким образом, в районе побережья наблюдается окончание протяженного разрыва, заложившегося, видимо, еще на стадии формирования фундамента. По разным сторонам разрыва в районе его окончания отмечаются области новейшего сжатия и растяжения, образующие в плане рисунок своеобразных «конских хвостов». Это указывает на то, что древний разрыв реактивируется в новейшее время. Согласно известной тектонофизической модели, имеющийся морфоструктурный рисунок свидетельствует о тенденции левого смещения вдоль разрыва в новейшее время (рис. 4, В).

Кряж Ветреного пояса представляет собой вытянутую в северо-западном направлении возвышенность, расположенную немного южнее южного окончания Онежского залива Белого моря. Протяженность кря-

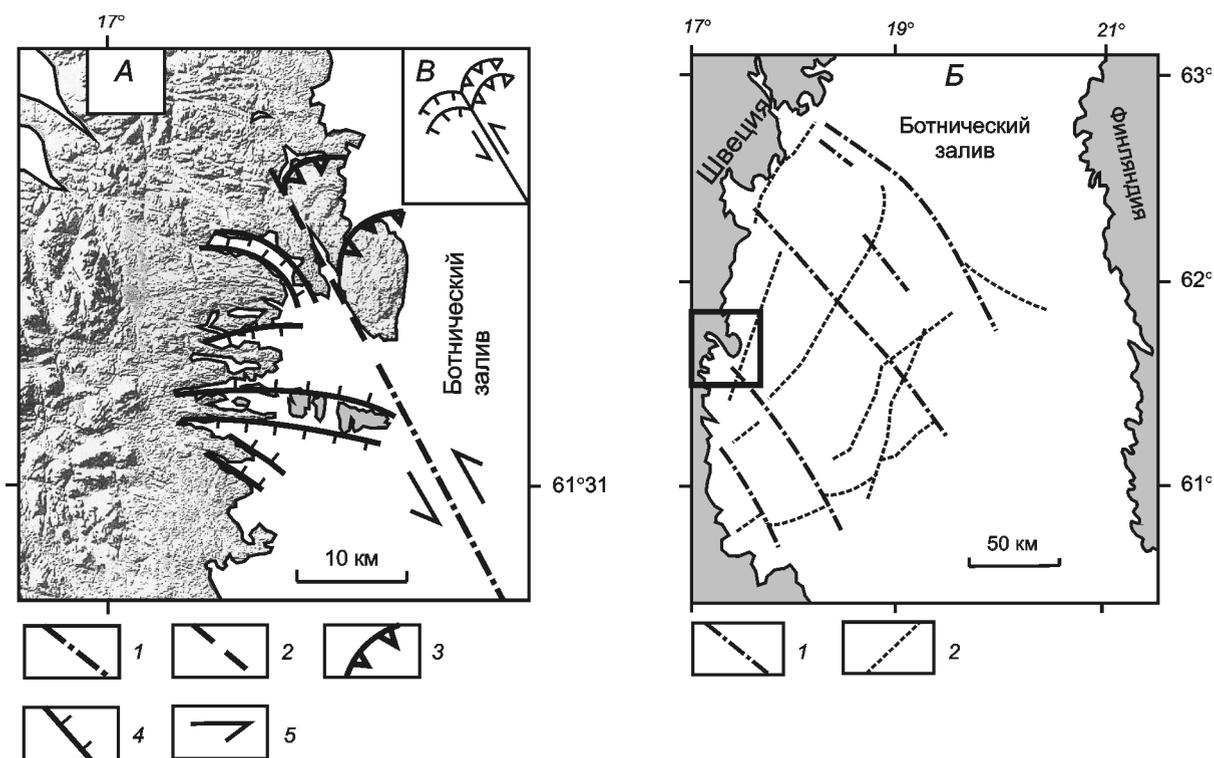


Рис. 4. Неотектонически активизированный разрыв на Западном побережье Ботнического залива:

А — прибрежная морфоструктура (врезка на рис. Б);

1 — разрыв, выделяемый по данным сейсмостратиграфии; 2 — разрыв в кристаллических толщах; 3 — надвиги, выраженные в рельефе; 4 — рельефообразующие сбросы; 5 — реконструируемое направление смещения. Б — разрывы, выделяемые по данным сейсмостратиграфии в Ботническом заливе:

1 — разрывы северо-западных простираний, выделяемые по данным сейсмостратиграфии; 2 — разрывы прочих ориентировок. В — модель образования структур сжатия и растяжения у окончания сдвига

жа как морфоструктуры составляет более 100 км, ширина — 10–30 км. Высота вершин достигает первых сотен метров. Массив пород, слагающих кряж, сложен вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами нижнепротерозойского возраста, залегающими до глубины около 5 км (Земная кора..., 1978). Вмещающими породами для массива пород кряжа являются архейские гранитогнейсы и другие кристаллические породы фундамента.

Большая часть массива пород кряжа обнажается в пределах Балтийского щита. Только в своей юго-восточной части массив ныряет под чехольные комплексы ВЕП, которые в этих местах представлены вендом и средним палеозоем. С северо-востока массив обрамляется крупным разрывом северо-западного простирания (Главный разрыв кряжа), в плане немного изогнутым в северо-восточном направлении (рис. 5). Склон кряжа над разрывом сравнительно крутой, в отличие от противоположного.

На пересечении Главного разрыва кряжа с р. Онегой вендские пестроцветы нарушены многочисленными разрывами с небольшой амплитудой в сантиметры и десятки сантиметров. Разрывы, ориентированные вдоль Главного разрыва, имеют левые смещения. Разрывы северо-восточного, секущего простирания имеют правые смещения и нарезают толщу на микроблоки, создающие структуру домино. Согласно имеющимся мо-

делям, повторяющиеся правые сдвиги между блоками свидетельствуют об общем левом смещении всей системы (Freund, 1970).

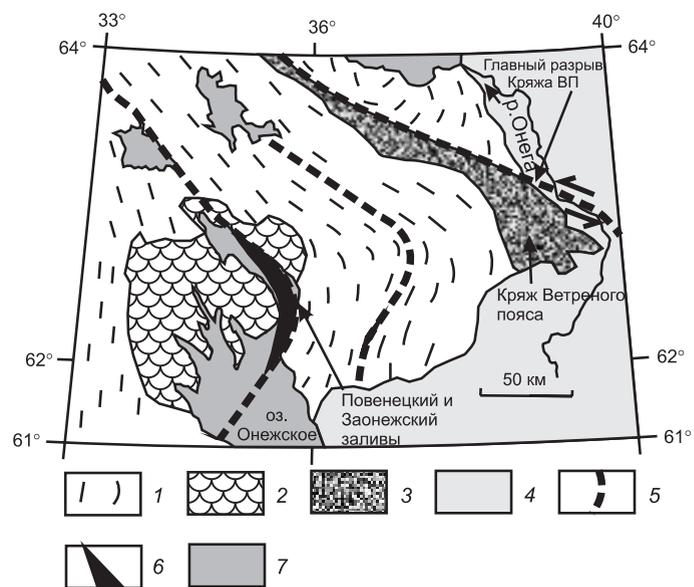


Рис. 5. Морфоструктуры района кряжа Ветреного пояса и Онежского озера (с использованием (Международная..., 1981):

1 — сланцеватость в архейских породах; 2 — Онежская мульда; 3 — массив пород кряжа Ветреного пояса; 4 — Русская плита; 5 — крупные разрывные зоны; 6 — реконструируемое замковое отслаивание; 7 — водоемы

Левые смещения вдоль Главного разрыва кряжа в новейшее время устанавливаются косвенным путем. В работе (Зыков, Колодяжный, 2007) было отмечено, что перед юго-восточным окончанием кряжа на его продолжении находится вытянутая депрессия, маркирующая область растяжения и опускания. Было сделано заключение, что эта область может быть интерпретирована как трещина отрыва перед подвижным индентором и служить одним из морфоструктурных свидетельств общего движения кряжа к юго-востоку, что должно приводить к левым смещениям на его северо-восточном обрамлении. Таким образом, в районе кряжа Ветреного пояса имеются признаки левых смещений по крупному разрыву северо-западного простирания для плитного этапа развития ВЕП, и в частности для новейшего этапа.

Подводя промежуточный итог, можно констатировать, что нами в разных местах Балтийского щита на основании анализа морфоструктуры установлены признаки левых смещений вдоль разрывов северо-западной ориентировки. Эти смещения проходили в плитную стадию развития ВЕП и в новейший тектонический этап.

В литературе также отмечается установленная на основании структурно-кинематических исследований большая роль левых смещений в новейшее время по сети разрывов северо-западного простирания, секущих Балтийский щит (Сим и др., 2009).

Рассмотрим несколько локальных участков, на которых удастся выявить признаки активизации струк-

турных дуг на плитном этапе развития ВЕП и в новейшее время.

В северной части ВЕП в углу, образованном реками Сухона и Северная Двина, по геофизическим данным выделяется крупная тектоническая зона (рис. 6). Она хорошо выражена в магнитных аномалиях и, судя по их расположению, имеет ширину не менее нескольких десятков километров.

В южной части она представлена системой разрывов северо-восточного простирания, обрамляющих Среднерусский авлакоген с северо-запада. К северо-востоку зона отходит от авлакогена и, образуя дугу, выгнутую в восточном направлении, смыкается с разрывами северо-западного простирания, уходящими на Балтийский щит. Значение этой зоны велико: она в целом отделяет в фундаменте ВЕП область широкого развития палеорифтов протерозойского возраста от сравнительно более однородного фундамента, расположенного во внутренней части дуги, поэтому она показана на многих тектонических картах условно, проходящим по ее средней части крупным разрывом (Международная..., 1981, 1996).

Район расположен на плитной части ВЕП, мощность субгоризонтально залегающего чехла здесь достигает сотен метров. Коренные отложения пермского возраста залегают практически до поверхности. Покров четвертичных отложений незначителен по мощности. Представлены они в основном позднепоследледниковыми отложениями, а в долинах рек аллювием. Рельеф равнинный, слабовсхолмленный, в долинах рек развит террасовый комплекс.

Долина р. Сухоны, текущей с юго-запада на северо-восток, сразу ниже пос. Игмас образует прямолинейный участок длиной более километра, имеющий почти меридиональное северо-северо-восточное простирание. Широкие пляжи реки в этих местах сложены субгоризонтально залегающими пермскими аргиллитами и мергелями. На их поверхности наблюдаются многочисленные почти параллельные ряды кулисно расположенных трещин (Зыков, 2010; Колодяжный, 2010). Длина каждой отдельной трещины составляет от первых до десятков сантиметров, длина ряда обычно несколько метров и более. Видимая ширина зоны в целом составляет первые десятки метров, однако в реальности она значительно шире, так как скрывается под водами реки и уходит под обрывистую часть берега.

Можно уверенно предположить, что кулисные ряды трещин соответствуют сколам риделя (R1), образующимся в зоне сдвига. В этом случае их ориентировка указывает на левое смещение по зоне в целом. Отметим, что столь ярко выраженное проявление кулисных трещин нехарактерно для близлежащих территорий. Простирание кулисных рядов примерно совпадает с простиранием прямолинейного участка реки и также является северо-северо-восточным.

Сравнение пространственного положения и простирания зоны кулисных трещин и показанной на тектонических картах линейной зоны дислокаций в фун-

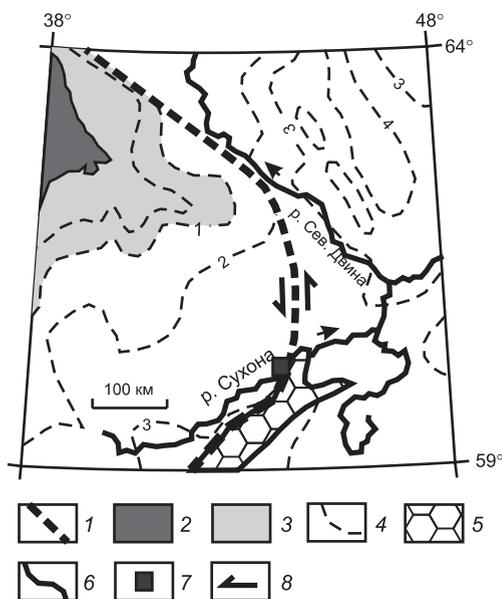


Рис. 6. Дуговидная зона дислокаций в междуречье Сухоны и Северной Двины (с использованием (Международная..., 1981): 1 — зона дислокаций; 2 — юго-восточный фрагмент Балтийского щита; 3 — погребенный склон Балтийского щита до изогипсы — 1 км; 4 — изогипсы рельефа поверхности фундамента; 5 — Среднерусский авлакоген; 6 — основные реки; 7 — место детальных исследований; 8 — направление сдвига, реконструированное по кулисным рядам трещин в породах пермского возраста

даменте показывает, что они практически совпадают в плане (рис. 6). Поэтому можно считать, что появление кулисных трещин в чехле ВЕП отражает активизацию смещений по зоне дислокаций в фундаменте в послепермское время.

Существуют и некоторые признаки неотектонической активизации зоны дислокаций. Эта зона дугой оконтуривает склон изомертичной в плане возвышенности, расположенной в углу между реками Сухона и Северная Двина и, таким образом, является рельефообразующей (рис. 6).

В результате можно констатировать, что в исследованном месте изогнутая зона дислокаций в фундаменте ВЕП, входящая в систему структурных дуг фундамента, имеет признаки левых смещений на плитном этапе развития платформы и некоторые признаки активизации на новейшем тектоническом этапе.

В северо-восточной части ВЕП, между реками Вычегда и Вятка, расположена крупная зона дислокаций фундамента, называемая зоной Вятских дислокаций (рис. 7). Протягивается эта зона на сотни километров, наиболее узкая ее часть имеет размеры примерно 250 на 25—30 км по поверхности фундамента. В плане зона имеет изогнутую форму и входит в систему структурно-тектонических дуг основания ВЕП. В основании зоны залегает Вятский авлакоген, выполненный породами рифея. Его структура хорошо подчеркивается расположением магнитных аномалий (Карта аномального..., 2004). По обеим сторонам авлакогена выделяются выступы фундамента, имеющие вытянутую в северо-северо-восточном направлении форму и размеры по длинной оси более 200 км (Международная..., 1981). Авлакоген перекрыт платформенным чехлом, включающим преимущественно палеозойско-мезозойский комплекс пород.

Рельеф территории низкохолмистый или равнинный, территория перекрыта чехлом четвертичных отложений, в основном ледникового и послеледникового происхождения.

Известно, что чехольные комплексы над авлакогеном образуют валообразное поднятие, деформирующее палеозойские и мезозойские (до меловых включительно) толщи (Государственная..., 1999). Это свидетельствует об активизации процессов сжатия в авлакогене на плитном этапе развития ВЕП. Это поднятие пород чехла имеет сложный характер. В его пределах выделяется ряд более мелких валов, вытянутых примерно вдоль оси авлакогена. М.Л. Копом (Копп, 2012) отмечено, что этот ряд в наиболее узкой части зоны дислокаций имеет кулисный рисунок, позволяющий реконструировать левые смещения вдоль всей зоны на плитном этапе развития ВЕП в послемеловое (кайнозойское) время. По данным этого же автора, в неотектонический этап зона Вятских дислокаций продолжает развиваться как поднятие.

Можно предложить еще один признак неотектонической активизации фундамента в районе, окружающем зону дислокаций. Сопоставление рельефа

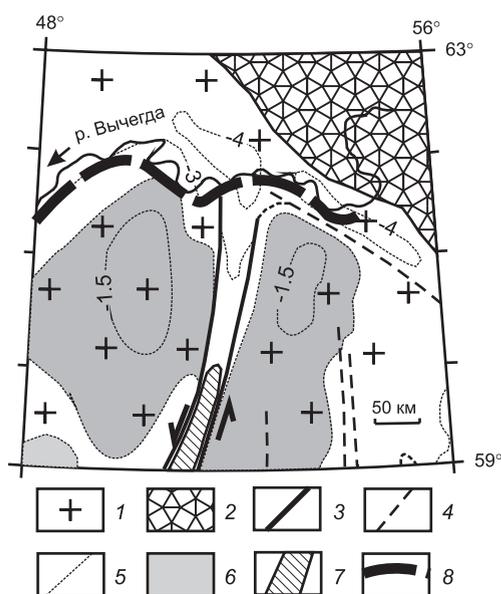


Рис. 7. Признаки активизации зоны Вятских дислокаций (с использованием (Международная..., 1981)):

- 1 — погребенный фундамент ВЕП; 2 — Тимано-Печорская область; 3 — разрывы, ограничивающие вятский авлакоген; 4 — прочие разрывы; 5 — изогипсы погребенного рельефа кровли фундамента; 6 — погребенные выступы фундамента по изогипсе -2 км; 7 — область, где валы, осложняющие чехол, образуют кулисный ряд; 8 — условная линия, подчеркивающая форму долины р. Вычегды в плане

территории с положением выступов фундамента, окружающих авлакоген, показывает, что они, особенно в своей северной части, хорошо выражены в рельефе возвышенностями. Яркое свидетельство неотектонической активизации (видимо избирательной вертикальной подвижности) этих структур фундамента — соотношение северных окончаний выступов в плане с формой долины р. Вычегды (рис. 7). На рисунке видно, что эта долина облекает их северные окончания, как бы чувствуя их опосредованно, через однородный чехол отложений, перекрывающих фундамент. Такое просвечивание можно объяснить, только привлекая новейшую подвижность неоднородностей основания плиты.

Следовательно, в исследованной части ВЕП зона Вятских дислокаций, обладающая изогнутой формой и входящая в систему структурных дуг фундамента, имеет признаки левых смещений на плитном этапе развития платформы. Выступы фундамента, ограничивающие эту зону, имеют отчетливые признаки вертикальной подвижности на новейшем тектоническом этапе.

Дуговидные линеаменты хорошо проявлены в восточной части ВЕП, в частности в районе низовий р. Камы. В этих местах на поверхности обнажаются субгоризонтально залегающие преимущественно терригенные породы пермского возраста, входящие в чехольный комплекс. Рельеф территории пологохолмистый, аккумулятивно-денудационный, при приближении к речным долинам становится значительно расчлененным. В настоящее время понижения рельефа

фа в низовьях Камы залиты водами Куйбышевского водохранилища и его границы отчетливо подчеркнули характерные особенности строения долины этой реки. Здесь она имеет общее субширотное простирание, представляет собой четковидную цепочку из расширенных участков, разделенных узкими перемычками (рис. 8). Ширина их по бортам долины от первых километров до десятков километров и нарастает вниз по течению к месту впадения в р. Волгу. Генерализуя границы расширенных участков в плане, можно заключить, что все они имеют ромбовидную форму. Их борта простираются в северо-западном и северо-восточном направлениях.

По данным (Государственная..., 2000), основанном на дешифрировании дистанционных материалов и анализе результатов бурения, вдоль долины Камы в этих местах проходит разрывная зона, а ромбовидные морфоструктуры ограничены оперяющимися разрывами северо-восточного простирания и являются следствием повторяющегося левого сдвига по этим разрывам, приводящего к образованию присдвиговых депрессий (рис. 8). Анализ расположения магнитных аномалий подтверждает наличие разрывов северо-восточного простирания в фундаменте этого района.

Все разрывы, секущие долину р. Камы и выделяемые как в чехле, так и в фундаменте, принадлежат к дуговидной системе линеаментов фундамента. Особенно интересно, что образованная ими на пересечении с разрывом, расположенным под долиной р. Камы, цепь ромбовидных морфоструктур растяжения в уменьшенном виде очень похожа на картину ступенчато расположенных в плане депрессий на границе Балтийского щита и Русской плиты. Расположение этих двух схожих по внешней форме сложных морфоструктур на разных концах одной и той же системы изогнутых структурных линеаментов, пересекающих

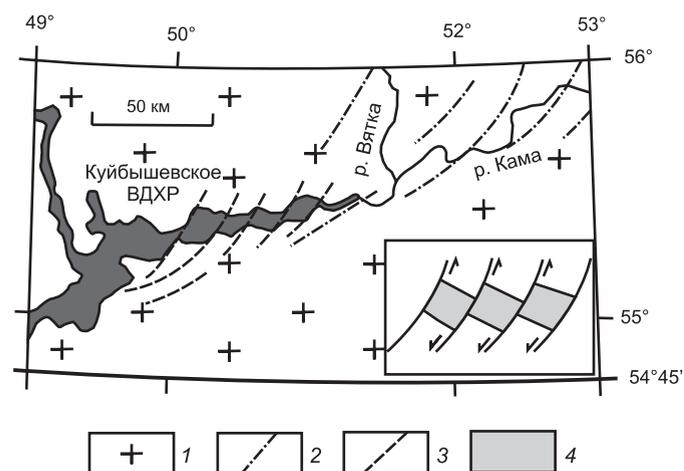


Рис. 8. Морфоструктурные особенности низовий долины р. Камы: 1 — фундамент ВЕП, перекрытый субгоризонтально залегающими чехольными комплексами; 2 — разрывы, выделяемые в фундаменте ВЕП (Международная..., 1981); 3 — разрывы, выделяемые преимущественно по данным дешифрирования дистанционных материалов (Государственная..., 2000); 4 — области растяжения на модели

всю Русскую плиту, свидетельствует о том, что они образовались при одном и том же тектоническом процессе, охватившем всю ВЕП. Этим процессом, по всей видимости, является левое сдвигание по обсуждаемым структурно-тектоническим дугам.

На Балтийском щите у границы с Русской плитой в районе Онежского озера расположен еще один морфоструктурный узел, который позволяет судить об активности структурно-тектонических дуг фундамента ВЕП (рис. 5). В этих местах на поверхности широко распространены архейские кристаллические породы (преимущественно гранитогнейсы), в структуре которых наблюдается крупная лежащая мегаскладка с крутым шарниром, хорошо читаемая по изгибающимся неоднородностям архейского субстрата — в основном разрывам и элементам сланцеватости (Международная..., 1981). Размеры этой складки по крыльям составляют около 200 км. Выше залегают нижнепротерозойские вулканогенно-осадочные и осадочные комплексы пород, которые образуют своеобразную нашлепку на архейском основании, мощность которой составляет до нескольких километров (в литературе эта структура носит название Онежской мульды) (Сыстра, 1991). Эти толщи смяты в гребневидные складки, распространенные не повсеместно. Породы Онежской мульды частично перекрывают архейскую мегаскладку в ее ядерной части.

Основной геоморфологической особенностью района является наличие крупной депрессии, занятой водами Онежского озера, которое кроме основной ванны имеет в северной части крупный залив, называемый Повенецко-Заонежским. Залив изогнут в плане, его длина около 100 км, ширина 10—20 км. Появление депрессии залива не может быть объяснено избирательной препарировкой субстрата. Эта депрессия неотектонически обусловлена не только в связи с ее крупными размерами, в ее пределах также описаны аномальные, явно тектонические перекосы голоценовых террас (Бискэ и др., 1971).

Сравнение рельефа и геологической структуры в плане показывает, что депрессия отчетливо сетчат структурные неоднородности протерозойских толщ, в пределах которых расположена, и при этом она генерализованно конформна мегаскладке в архейских породах, с которыми непосредственно почти не соприкасается. Этот феномен опосредованного просвечивания структуры находит свое объяснение с позиции реактивации изгиба мегаскладки фундамента в Новейшее время. При продолжающемся изгибании в замковой части мегаскладки, видимо, происходит эффект замкового отслаивания, приводящий к образованию изогнутой зоны растяжения в ее замке. На поверхности эта зона растяжения выражается в образовании изогнутой депрессии, конформной погребенному замку мегаскладки.

Образование замкового отслаивания в области максимального изгиба у крупного структурно-текто-

нического линеамента, образующего одну из дуг, осложняющих фундамент ВЕП, свидетельствует о реактивации этой дуги. В данном случае, поскольку речь идет о рельефообразовании, возраст процесса явно неотектонический. Механизмом явления может быть как субмеридиональное сплющивание мегаскладки, так и горизонтальное проскальзывание в замке, что не противоречит одно другому. Направление проскальзывания по имеющимся данным однозначно установить не удастся.

Таким образом, в разных местах ВЕП установлены признаки левых смещений вдоль структурно-тектонических дуг, осложняющих кристаллическое основание ВЕП. Эти смещения проходили в плитную стадию развития ВЕП и, вероятно, имели место в новейший тектонический этап.

Обсуждение

Дешифрирование магнитных аномалий и рельефа поверхности фундамента ВЕП позволяет выделить в этом фундаменте структурно-тектонические линеамента. Они образуют вихревую структуру из серии изогнутых дуг, отвечающую общему вращению платформы по часовой стрелке на стадии становления фундамента в архейское время. На Русской плите расположены преимущественно дуговидные элементы, в районе Балтийского щита — прямолинейные, секущие щит в общем северо-западном направлении. В районе границы щита и плиты линеамента смыкаются.

Морфоструктурные исследования в отдельных районах Балтийского щита и Русской плиты позволяют с определенной степенью достоверности установить проявления реактивации прямолинейных и дуговидных структурно-тектонических элементов на плитном этапе развития ВЕП и в новейшее время. Кроме рельефообразующих проявлений, отвечающих проявлениям вертикальных движений, устанавливаются признаки преимущественно левосдвиговых перемещений по выделенной сети структурно-тектонических линеаментов.

Для времени плитного развития ВЕП в доновейшее время смещения устанавливаются по нарушениям в чехле, в основном по кулисным рядам трещин или валов, для неотектонического этапа — по появлению левосдвиговых морфоструктурных рисунков. К сожалению, в условиях платформы выраженность и достоверность этих рисунков часто приходится обсуждать в предположительном ключе.

В месте смыкания линейных и дуговидных линеаментов, на границе Русской плиты и Балтийского щита, наблюдается цепь неотектонически обусловленных депрессий, выраженных как заливы и озера. Эта цепь образует в плане ряд ступеней, границы которых хорошо вписываются в систему структурно-тектонических линеаментов, переходящих с Балтийского щита на Русскую плиту. Расположение ступеней

наводит на мысль о повторяющихся левых смещениях цепи водоемов, в то же время огромные амплитуды перемещений ставят под сомнение возможность такого процесса в течение новейшего этапа. Однако выявляемые горизонтальные левые перемещения по структурно-тектоническим линеаментам на локальных участках ВЕП указывают на то, что подобные дислокации действительно участвуют в создании имеющейся ступенчатой морфоструктуры на поздних стадиях плитного этапа развития ВЕП, и в частности в новейшее время.

На основании сделанных наблюдений можно реконструировать направление вращения ВЕП (по материалам, полученным на севере и востоке ВЕП). Повторяющиеся левые сдвиги указывают, скорее всего, на вращение платформы по часовой стрелке (рис. 9), что подтверждает высказанное М.Л. Коппом предположение для кайнозойского времени (Копп, 2004). Сжатие в районе Вятского авлакогена подтверждает характер именно такого вращения, так как при нем должно происходить прижимание изогнутых доменов, ограниченных структурными дугами, друг к другу. При вращении в противоположном направлении, скорее, можно было бы ожидать их расхождение и появление зон растяжения.

В то же время в геологическом субстрате, слагающем ВЕП, наблюдаются деформации, которые невозможно объяснить как следствие обсуждаемого выше вращения. Например, у структурной дуги, расположенной в районе Онежского озера, происходит приоткрывание в месте максимального изгиба, или известные из литературы реконструируемые проявления не левых, а правых смещений вдоль разрывов северо-западного простирания (Сим и др., 2009) и т.п.

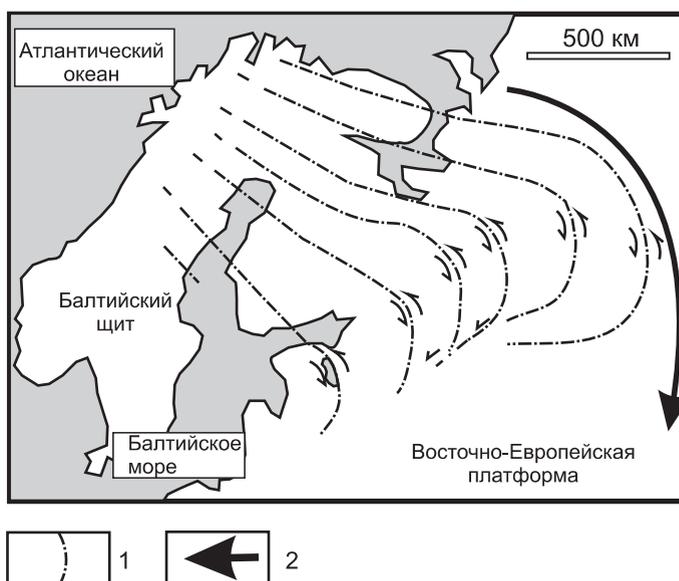


Рис. 9. Модель основной тенденции вращения ВЕП на плитном этапе развития (включая новейшее время): 1 — условные линии, генерализовано отражающие характер делимости фундамента ВЕП; 2 — направление общего вращения

Это свидетельствует о том, что картина тектонических процессов, оставивших свои следы в породах, является непростой. Видимо, на общее вращение по часовой стрелке накладываются осложнения, связанные с воздействием каких-то других тектонических процессов. Это могут быть ранговые процессы на структурных неоднородностях, осложняющие имеющее место вращение, или проявляющееся реже вращение в противоположном направлении. Можно предположить также деформации, вообще не связанные с вращением или связанные с наложением вращений на какие-то иные процессы.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что в общей картине деформаций геологического субстрата ВЕП нами были выявлены и специально подчеркнуты как имеющие индикационный характер структурно-кинематические особенности, связанные с линейными неоднородностями фундамента и с их реакцией на определенный тип тектонического процесса, — вращение ВЕП.

Заключение

Фундамент ВЕП осложнен системой крупных неоднородностей, представляющих собой вложенные друг в друга структурные дуги. Эти дуги образовались в архейское время в процессе становления прото-платформы. Их общий вихревой рисунок свидетельствует о вращении этой протоплатформы по часовой стрелке.

Выявленные деформации чехла и морфоструктурные рисунки в районе структурных дуг свидетельствуют о том, что на поздних стадиях плитного этапа развития ВЕП, включая неотектонический этап, происходит их реактивация, которая свидетельствует о возобновлении вращений ВЕП, также происходящего в основном по часовой стрелке. Однако картина деформаций, выявляемых в пределах ВЕП, является сложной и не может быть объяснена только однонаправленным вращением. Видимо, этот процесс не единственный, а происходит на фоне других тектонических процессов.

Работа выполнена при поддержке программы ОНЗ РАН № 10 и гранта РФФИ № 13-05-00298.

ЛИТЕРАТУРА

- Бискэ Г.С., Лак Г.Ц., Лукашов А.Д. и др.* Строение и история котловины Онежского озера. Петрозаводск: Карелия, 1971. 74 с.
- Валеев Р.Н.* Авлакогены Восточно-Европейской платформы М.: Недра, 1978. 152 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1:1 000 000 (новая серия). Лист 0-(38), 39 — Киров. Объяснит. зап. / Гл. ред. В.П. Кириков. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. 331 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1:1 000 000 (новая серия). Лист N-(38), 39 — Самара. Объяснит. зап. / Гл. ред. В.П. Кириков. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 283 с.
- Земная кора Восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1978. 232 с.
- Зыков Д.С.* Новейшая геодинамика Северо-Карельской зоны (Балтийский щит). М.: ГЕОС, 2001. 146 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 534).
- Зыков Д.С.* Происхождение и возраст складчатых деформаций в пермских отложениях в районе среднего течения р. Сухона (Вологодская обл.) // Бюл. Комис. по изуч. четвертич. периода. 2010. № 70. С. 59—70.
- Зыков Д.С., Колодяжный С.Ю.* Признаки горизонтальных перемещений на юго-восточной окраине Балтийского щита // Геоморфология. 2007. № 4. С. 42—52.
- Карта аномального магнитного поля (ГТ)а России и прилегающих акваторий м-ба 1:5 000 000 / О.В. Петров, А.Ф. Морозов, А.В. Липилин и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. 4 л.
- Колодяжный С.Ю.* К вопросу о генезисе рифейских рифтогенных структур Восточно-Европейской платформы // Докл. РАН. 2003. Т. 389, № 6. С. 781—785.
- Колодяжный С.Ю.* Структурно-кинематические парагенезы в осадках фанерозойского чехла Среднерусской зоны дислокаций // Геотектоника. 2010. № 2. С. 56—76.
- Копп М.Л.* Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2004. 304 с.
- Копп М.Л.* Вятские дислокации: динамика формирования и выражение в новейшей структуре (Восточно-Европейская платформа) // Геотектоника. 2012. № 6. С. 55—77.
- Костенко Н.П., Макарова Н.В., Корчуганова Н.И.* Выражение в рельефе складчатых и разрывных деформаций. Структурно-геоморфологическое дешифрирование аэрофотоснимков, космических снимков и топографических карт. М.: Изд-во МГУ, 1999. 120 с.
- Леонов М.Г.* Внутренняя подвижность фундамента и тектогенез активизированных платформ // Геотектоника. 1993. № 5. С. 16—33.
- Леонов М.Г., Зыков Д.С., Колодяжный С.Ю.* О признаках течения горных масс фундамента в послеледниковое время (Северо-Карельская зона Балтийского щита) // Геотектоника. 1998. № 3. С. 71—79.
- Международная тектоническая карта Европы и смежных областей. М-б 1:2 500 000 / Под ред. А.А. Богданова, В.Е. Хаина. М.: ГУГК, 1981.
- Международная тектоническая карта Европы. М-б 1:5 000 000 / Под ред. В.Е. Хаина, Ю.Г. Леонова. СПб.: ВСЕГЕИ, 1996.
- Никонов А.А.* Голоценовые и современные движения земной коры (геолого-геоморфологические и сейсмотектонические вопросы). М.: Наука, 1977. 240 с.
- Поletaев А.И.* Сдвигово-ротационная модель структурной эволюции Русской платформы // Геоинформмарк. 2000. Вып. 5. 44 с.
- Сим Л.А., Свириденко Л.П., Брянцева Г.В.* Об унаследованном развитии неотектонических разломов восточной части Балтийского щита // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия: Мат-лы Всерос. совещ. Т. 1. Иркутск: СО РАН, 2009. С. 100—102.
- Сыстра Ю.Й.* Тектоника Карельского региона. Л.: Наука, 1991. 176 с.

Чамов Н.П. Тектоническая история и новая модель формирования Среднерусского авлакогена // Геотектоника. 2005. № 3. С. 3—22.

Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 299 с.

Freund R. Rotation of strike-slip faults in Sistan, southeast Iran // J. Geology. 1970. Vol. 78. P. 188—200.

Morner N.-A. Paleoseismicity of Sweden a novel paradigm. Paleogeophysics & Geodynamics / Stockholm University. Stockholm, Sweden, 2003. 320 p.

SIGNS OF ROTATION OF EAST EUROPEAN PLATFORM ON LATEST STAGES OF ITS DEVELOPMENT

D.S. Zykov

The large heterogeneity of the East European Platform basement forms rotated structure that consists of structural-tectonic arcs. This structure indicate for clockwise rotation of protoplatform during the time of it origin. Deformations in the platform cover and morphostructure of arcs show that during plate evolution including neotectonic time one can see the reactivation of the clockwise rotation of the platform. The deformational pattern inside of the East European Platform is very complicate and could not be explained only by rotation in one direction. Rotational deformations took place together with deformations of other nature.

Key words: geotectonics, platform cover, tektonic rotation, East European Platform.

Сведения об авторе: *Зыков Дмитрий Сергеевич* — канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. лаб. тектоники консолидированной коры ГИН РАН, *e-mail:* zykov@ginras.ru