

МОРФОСТРУКТУРА РЫБИНСКОГО УЗЛА СРЕДНЕРУССКОЙ ЗОНЫ ДИСЛОКАЦИЙ КАК ОТРАЖЕНИЕ НОВЕЙШЕЙ ВНУТРИПЛАТФОРМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ

© 2022 г. Д. С. Зыков^{1,*}, А. В. Полещук¹, С. Ю. Колодяжный¹

¹Геологический институт РАН, Москва, Россия

*E-mail: zikov58@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.09.2021 г.

После доработки 05.10.2021 г.

Принята к публикации 11.10.2021 г.

Проблема расшифровки геодинамических особенностей проявления новейшей локальной горизонтальной внутриплатформенной подвижности земной коры является слабо изученной. Она раскрывается на примере области сочленения Балтийского щита и Русской плиты. Исследование базируется на обоснованной ранее М.Г. Леоновым возможности квазипластических деформаций в жестких кристаллических породах. В качестве методического подхода используется морфоструктурный анализ, в котором сопоставляется геологическая структура и особенности рельефа, на основании чего делаются выводы о новейшей активизации структуры. В кристаллическом фундаменте Восточно-Европейской платформы (ВЕП) выделяются крупные массивы. Под воздействием региональных геодинамических процессов Карельский массив Балтийского щита в новейшее время испытывает малоамплитудные горизонтальные деформации, приводящие к его сжатию в центре и выдвиганию в виде выступов на окраинах. С ЮЗ массив ограничен Рыбинским разломом, который смещает Среднерусский авлакоген на 100 км к ЮВ, в результате чего формируется Рыбинский морфоструктурный узел. Он представляет собой послеледниковую депрессию с двумя прямолинейными бортами, расположенными над разломами фундамента. Этот узел может быть определен как новейший грабен. Грабен находится на продолжении скрытого под чехлом сужающегося края Карельского массива и может быть интерпретирован как следствие отодвигания края в процессе общей деформации массива, сочетающимся с движением щита в сторону плиты, реализующимся, вероятно, за счет тектонических процессов, раскрывающих Северную Атлантику. Таким образом, Рыбинский структурный узел является индикатором как внутриплитной геодинамики Карельского массива, так и воздействия более масштабной геодинамической системы, связанной с раскрытием Северной Атлантики и отодвиганием щита.

Ключевые слова: геодинамика, геодинамические системы, объемная подвижность, неотектоника, Русская плита, Балтийский щит, морфоструктура, Рыбинский грабен, структуры расклинивания

DOI: 10.31857/S0435428122010138

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА

Статья посвящена проблеме расшифровки геодинамических особенностей проявления внутриплатформенной подвижности земной коры на примере области сочленения Балтийского щита и Восточно-Европейской платформы (ВЕП). В середине XX века древние платформы считались сравнительно стабильными, особенно в новейшее время. Только в конце XX века стали появляться работы, опровергающие это мнение [1, 2]. В то же время, выявление морфоструктур, связанных с подобными процессами, и их увязка с геодинамическими моделями развития платформ остаются недостаточно изученными и весьма актуальными. В статье делается попытка решения

такой задачи для северного обрамления Русской плиты, структурно связанной с окраиной Балтийского щита. Как узловой индикатор используется одна из наиболее ярких морфоструктур Среднерусской зоны дислокаций — Рыбинский морфоструктурный узел. Основной методикой исследования является морфоструктурный анализ, при котором глубинная геологическая структура сопоставляется с рельефом [3]. Полученные сочетания интерпретируются с применением структурно-кинематических моделей. Например, наличие над разрывами фундамента и чехла прямолинейных протяженных уступов в рельефе рассматривается как свидетельство активизации древних разрывов в новейшее время.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Балтийский щит в районах, прилегающих к Русской плите ВЕП, делится на ряд крупных массивов докембрийской консолидации, в том числе и Карельский в области развития беломорских и свекофенских комплексов (рис. 1, а) [4]. Они сложены гранито-гнейсами, гранитами, амфиболитами и т.п., различаются по возрасту и характеру структурно-метаморфической переработки и имеют разную прочность. Все перечисленные массивы прослеживаются на юг под чехлом Русской плиты.

Карельский массив занимает центральное положение в исследуемом районе. Он вытянут в СЗ направлении и имеет размеры примерно 600×300 км. На юге Карельский массив перекрыт чехлом Русской плиты. На основании сходящихся к югу конусом магнитных аномалий, под чехлом вполне вероятно наличие в массиве заостренной к югу структуры или окончания, имеющего заостренную форму (см. рис. 1, а). Это показано на тектонических картах [5] и в работах [6–8].

Среднерусский авлакоген расположен над центральной частью Московской синеклизы и имеет общую СВ ориентировку. Важная особенность его строения – наличие вдоль него секущих сдвигов. Наиболее значимое сдвиговое смещение, с амплитудой около 100 км наблюдается по Рыбинскому разлому (рис. 1, а). Вместе с другим (Череповецким) разломом, расположенным примерно в 50 км к СВ, он образует Рыбинский структурный узел, который фиксируется в докембрийском фундаменте [9], влияет на распределение мощностей и фаций некоторых толщ палеозойского возраста [8], а значит, является долгоживущим. Рыбинский разлом протягивается на СЗ до Ладожского озера [5–7], где вдоль него установлены признаки новейшего правого смещения [10]. В таком виде он ограничивает скрытый под чехлом выступ Карельского массива с ЮЗ.

РЫБИНСКИЙ МОРФОСТРУКТУРНЫЙ УЗЕЛ

Строению района Рыбинского моря была посвящена предшествующая статья, в которой изложены основные данные по геоморфологии, четвертичной геологии, неотектонике и глубинному тектоническому строению района [11]. Обоснован вывод, что в районе Рыбинского моря существует новейшая грабеновая морфоструктура.

Тезисно материалы этой статьи можно изложить следующим образом. Молого-Шекснинская впадина, заполненная в настоящее время водами Рыбинского моря, представляет собой грабеновидную впадину с прямолинейными сравнительно крутыми северо-восточным и юго-западным бортами, сложенными позднечетвер-

тичными, в основном моренными отложениями. Впадина расположена над грабеном, хорошо выраженный в фундаменте и нижней части комплексов чехла, и также имеет выражение в кровле дочетвертичных пород. В современном виде впадина заложилась на месте области незначительных тектонических опусканий, и происхождение ее контрастного рельефа связано в основном с деятельностью ледников, следы которых затем отчасти сглаживались поздне-последледниковыми озерами и водными потоками, отложения которых выполняют дно впадины. На процесс развития впадины в четвертичное время накладывалось воздействие обрамляющих ее разломов. Это воздействие выражалось не столько высокоамплитудными смещениями (соответствующими размаху рельефа или кровли дочетвертичных отложений), сколько формированием ослабленных зон повышенной трещиноватости, которые контролировали проявления экзарационных и абразионных процессов. Замеры ориентировки трещиноватости в обнажениях в прибортовой части долины реки Сить показали совпадение простирания основных систем трещин, разломов фундамента и основных морфологических элементов района, в частности бортового уступа водохранилища, что свидетельствует о его тектонической предопределенности, и прямолинейных долин впадающих в него оврагов и рек.

Новейшая активность Рыбинского разлома в исторический период подтверждается расположением на его продолжении к юго-востоку (на расстоянии примерно 100 км) эпицентра землетрясения 1487 г. с балльностью 4 и более, зафиксированного по историческим данным (рис. 1, б) [12].

Необходимо также отметить, что благодаря проведенным ранее в районе Рыбинского водохранилища исследованиям, в литературе описаны деформационные структуры в четвертичных и более древних отложениях. Ныне их считают гляциодислокациями, но, по нашему мнению, этот вопрос нуждается в более подробном изучении в будущем. Возможно, часть из них можно будет отнести к следствиям сейсмотектонической активности разрывов в районе Рыбинского морфоструктурного узла в поздне-последледниковое время. Пока об этом можно говорить с большой осторожностью, не претендуя на доказанность. Такие структуры отмечаются вдоль всего южного обрамления Рыбинской морфоструктуры. Кратко приведем некоторые примеры, известные по литературным данным. Так, по материалам [13, 14], они известны немного южнее г. Рыбинск в долинах рек Черемухи и ее правого притока – р. Иода. В долине р. Иода, ниже моста у с. Михайловское в крутом обрыве (рис. 1, в) в первой надпойменной террасе высотой до 5 м и длиной около 50 м обнажаются слои юрской и четвертичной систем. Юрские слои в правом и левом борту реки

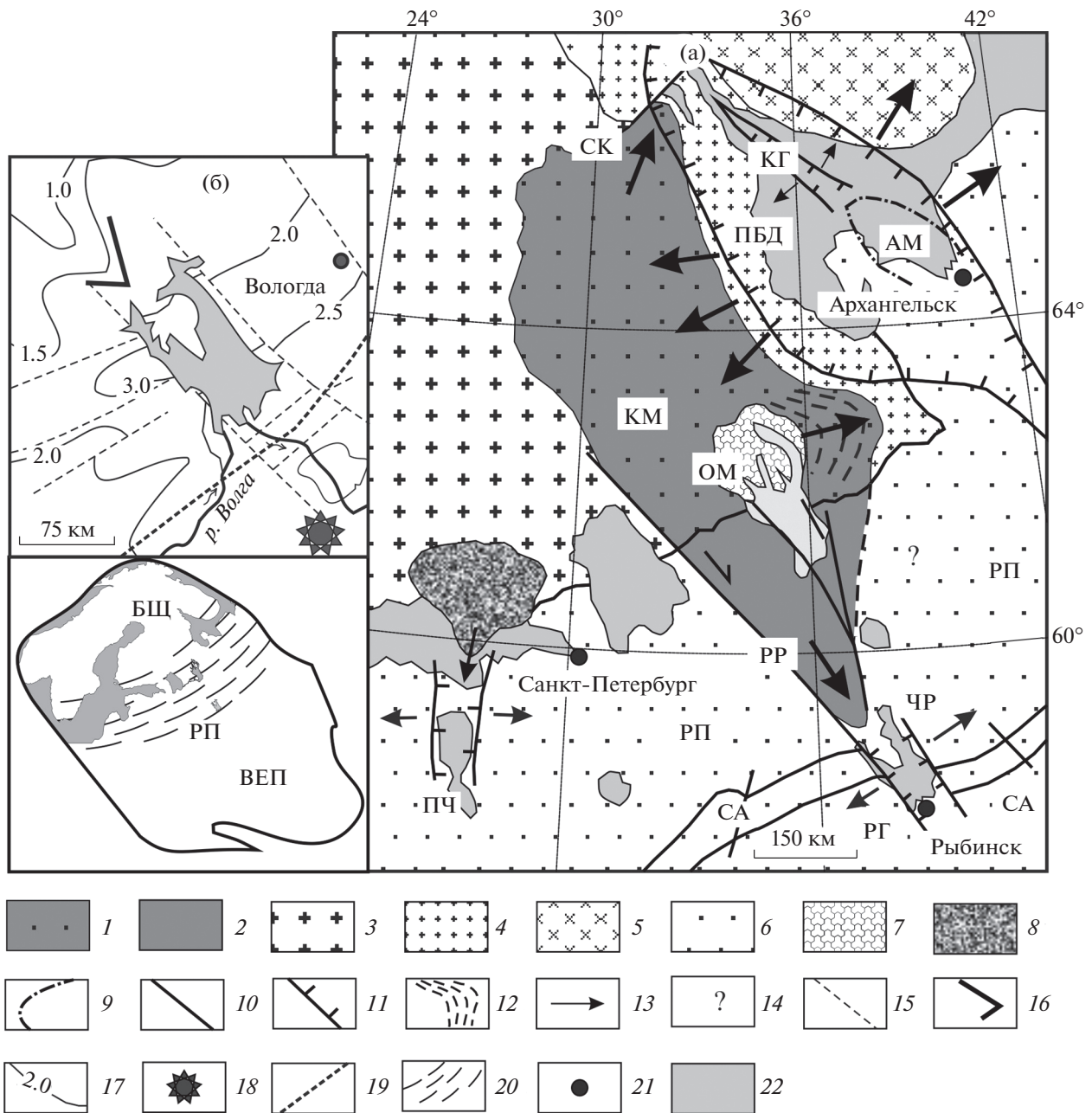


Рис. 1. Новейшая геодинамика на севере Восточно-Европейской платформы с участием Карельского массива и Рыбинского грабена.

(а) – дислокации Карельского массива в районе взаимодействия Балтийского щита и Русской плиты и морфоструктурные индикаторы этого процесса.

1 – Карельский массив на Балтийском щите; 2 – часть Карельского массива, скрытая под чехлом Русской плиты; 3 – свекофениды; 4 – беломориды; 5 – кристаллические комплексы Кольского п-ова; 6 – Русская плита; 7 – Онежская протерозойская мульда; 8 – Выборгский массив; 9 – контуры Архангельского массива; 10 – разрывы; 11 – ограничительные грабен и депрессии; 12 – минеральная линейность кристаллических комплексов; 13 – тенденция перемещения субстрата; 14 – область, которую некоторые авторы включают в Карельский массив.

Буквенные обозначения: АМ – Архангельский массив; КГ – Кандалакшский грабен; КМ – Карельский массив; ОМ – Онежская морфоструктура; ПБД – Прибеломорская депрессия; ПЧ – Псковско-Чудская депрессия; РГ – Рыбинский грабен; РП – Рыбинский разлом; СА – Среднерусский авлакоген; СК – Северокарельский выступ; ЧР – Череповецкий разлом.

(б) – сопоставление структуры фундамента и контуров Рыбинского водоема (по [9] с изменениями), выделены клиновидный выступ напротив Рыбинского грабена и нанесено положение эпицентра землетрясения 1487 г. (по [12]).

15 – разрывы в фундаменте; 16 – клиновидный выступ в рельефе фундамента; 17 – изогипсы рельефа фундамента; 18 – эпицентр землетрясения 1487 г.; 19 – газопровод.

(в) – расположение Циркумбалтийского пояса на ВЕП.

20 – Циркумбалтийский пояс.

Буквенные обозначения: БЩ – Балтийский щит; ВЕП – Восточно-Европейская платформа; РП – Русская плита.

Общие обозначения: 21 – города; 22 – водоемы.

дислоцированы, осложнены разрывами, в том числе надвиговой кинематики с амплитудой смещения 1.5 м. Вблизи плоскости разрыва юрские слои изгибаются, образуя небольшие складки. Всякое крыло сложено ниже-среднеоксфордскими, а лежащее — верхнеоксфордскими слоями. В обнажении на протяжении 20 м наклон поверхности нарушения меняется от наклонного у основания обрыва до практически горизонтального в центральной части. Другой тип нарушений залегания юрских слоев отмечаются примерно там же, в долине реки Черемуха, напротив д. Конюшино. Здесь, примерно в 400 м от д. Конюшино, посередине спрямленного участка реки, обнажаются коренные породы в обрыве высотой до 5 и длиной до 100 м вдоль уступа первой надпойменной террасы. Здесь среди морены встречаются мелкие отторженцы юрских пород. Все юрские слои наклонены к югу под углом 45°, частично сматы в складку, верхняя часть которой срезана ледником.

Нарушения, относимые к гляциодислокациям, известны в районе впадения р. Волга в Рыбинское море на правом берегу, в районе д. Петраково, где представлены несколькими чешуйчатыми надвигами, секущими юрские и меловые породы [15].

При изучении разреза в 750 м ниже д. Мостово, расположенного в тех же местах, описаны чешуевидные разрывы юрских и меловых слоев, чередующихся с четвертичными породами [16]. Они отнесены к морене напора [13].

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Связь Рыбинского морфоструктурного узла с внутренней неотектонической геодинамикой ВЕП устанавливается при анализе геодинамических систем, проявляющих свою активность в окружающих узел районах. Самой главной из них, безусловно, является система, связанная с воздействием, оказываемым на Балтийский щит глубинными подкоровыми процессами, с которыми может быть связано раскрытие Атлантики. Их характер дискуссионен, но наличие признают многие исследователи [17–19]. В частности, отмечается, что сейсмологические данные и результаты измерений в рудниках и осадочном чехле указывают на существование в земной коре значительных напряжений горизонтального сжатия, которые по ориентировке соответствуют движению плит в стороны от срединных хребтов, и это затрагивает ВЕП. Те же данные дают основание полагать, что палеонапряжения, генерируемые тектоникой литосферных плит, передаются во внутренние части платформ, где происходит сравнительно автономное развитие ее разнородных частей [18].

Исходя из существования геодинамического воздействия на ВЕП, видимо, носящего характер направленного давления, высказывается мнение о возможности некоторого движения щита к ЮВ в сторону Русской плиты [2]. Хотя щит и является с плитой одним целым, но отделен от нее пограничной зоной повышенной дислоцированности, возникшей в местах смены длительных поднятий земной коры на опускания [2, 18, 20].

Область сочленения щита и плиты представляет собой широкий изогнутый пояс с самостоятельными структурными и геодинамическими особенностями. Он был выделен в работе [2] и назван Циркумбалтийским (рис. 1, в). В пределах пояса движение Балтийского щита преобразуется в раздвигание субстрата перед его фронтом, перпендикулярно давлению щита, т.е. в производную геодинамическую систему. В частности, образуются цепи новейших грабенов, маркируемых в настоящее время водоемами (озера Ладожское, Онежское, Псковское и Белое море). Согласно представленной в [2] графике, Рыбинская морфоструктура тоже входит в этот пояс.

Концепция существования Циркумбалтийского пояса развита в работе [21], где была обоснована принципиальная возможность раздвигания геологического субстрата вдоль пояса за счет отсутствия жесткого упора на его торцах, и показано, что появление цепи новейших грабенов связано с благоприятными локальными структурными условиями, обеспечившими возможность сближения кристаллических масс вдоль оси сжатия за счет реализации механизма расклинивания. Например, в Беломорской депрессии Кандалакшский грабен образуется напротив Архангельского выступа земной коры при их сближении, а Псковско-Чудская депрессия напротив выступа Выборгского массива (рис. 1, а) и т.п. Механизм расклинивания перед индентором, связанный с горизонтальной подвижностью субстрата, описан для тектонически активных районов. Для наших реконструкций мы пользуемся его модельным вариантом [21].

Предполагаемое воздействие на Балтийский щит со стороны Атлантики и вызванные им подвижность щита и его деформации приводят к развитию подчиненных внутриплатформенных геодинамических систем. Они связаны с взаимозависимыми деформациями имеющихся в кристаллических породах фундамента крупных разнородных массивов.

Одним из таких массивов является Карельский массив Балтийского щита, для которого изучены деформации в плане для всего до новейшего времени [20, 22] и для неотектонического этапа [21–24]. Для новейшего времени была обоснована тенденция отодвигания его выступающих краев (без отделения) в районе Северо-Ка-

рельской зоны к С, и в районе Онежской морфоструктуры к В (рис. 1, а).

Край Карельского массива между двумя вышеупомянутыми выступами имеет вогнутую форму. Конформно его краю, вдоль всей его СВ стороны в новейшее время наблюдается активное развитие крупной неотектонически обусловленной [25] линзовидной депрессии (Прибеломорской), в центральной части которой расположено Белое море (рис. 1, а). Конформность отодвигающейся границы развивающегося новейшего прогиба и Карельского массива свидетельствует об их взаимовязанном неотектоническом развитии. Результирующая геодинамическая модельная картина для Карельского массива в пределах Балтийского щита, в которой отражено его сокращение в поперечнике (“раздавливание”) со стороны разрастающейся Прибеломорской депрессии в центральной части, и соответствующее выдвигание (“выдавливание”) по краям приведены в [23]. В этой модели учтены все обоснования, сделанные в [20–25], и в графически расширенном варианте она приводится в данной работе (рис. 1, а).

Наши последние исследования в районе Рыбинского морфоструктурного узла позволяют существенно дополнить рассматриваемую модель и, опираясь на описанную выше схему дислоцирования всего Карельского массива, по-новому подойти к происхождению и индикационной роли Рыбинского узла в неотектоническом развитии района Циркумбалтийского пояса ВЕП. Рыбинский грабен расположен напротив южного заостренного клиновидного окончания Карельского массива, которое выражено также в рельефе фундамента [9] (рис. 1, а, б).

Также обращают на себя внимание небольшое расхождение границ новейшего грабена на поверхности в сторону расширения массива и наличие напротив заостренного окончания массива клиновидного полуострова, вдающегося в море между полузатопленными долинами рек Молога и Шексна. Можно уверенно предположить, что такая картина не является случайной. Она отвечает спровоцированному расширяющейся Прибеломорской депрессией сдавливанию Карельского массива и отодвиганию его южного заостренного окончания к югу, с возникновением перед ним морфоструктуры расклинивания в виде грабена. Аналогично подобным морфоструктурам, расположенным на севере, в цепи новейших грабенов по краю щита (Кандалакшский, Ладожский, Онежский, Псково-Чудской) возможность появления Рыбинской морфоструктуры облегчается расположением ее в пределах Циркумбалтийского пояса, благоприятного для появления морфоструктур продольного ему растяжения, а также тенденцией сближения щита и плиты.

Как уже отмечалось, Среднерусский авлакоген с большой амплитудой смещен по Рыбинскому разлому основания, что можно интерпретировать как правый сдвиг. Для подтверждения выдвигаемой концепции представляет интерес выяснить, существуют ли признаки продолжения перемещения по этому разлому в новейшее время. Ответ на этот вопрос помогает найти система прямолинейных речных и овражных долин, выявляемых вдоль линейного ЮЗ борта новейшего Рыбинского грабена, расположенного над Рыбинским разломом, смещающим авлакоген (рис. 2, а). Из-за своей прямолинейности эти элементы эрозионного рельефа могут рассматриваться как структурные линеаменты, тем более что замеры трещиноватости, сделанные нами в обнажениях в низовьях р. Сить, подтвердили хорошую корреляцию между системами трещин и направлениями упомянутых эрозионных форм [11]. В этой системе вместе с линеаменами северо-восточного простирания широко представлены субмеридиональные линеаменты, диагональные к простиранию борта грабена (I на рис. 2, б). Все они располагаются в сравнительно узкой полосе вдоль берегового уступа и затухают к водоразделу, при этом диагональные борту линеаменты не направлены по максимальному уклону склона.

Проинтерпретировать имеющуюся картину позволяет взятая из работы [26] принципиальная схема внутреннего участка сдвиговой зоны, на которой показано, как вдоль магистральной линии сдвига располагаются опережающие системы сколов. Часть из них перпендикулярна основному сдвигу, а часть диагональна и наклонена навстречу смещению (II на рис. 2, б). Для лучшего восприятия картины сопоставления схемы линеаментов и модели сколов у сдвига мы расположили их параллельно друг другу и срезали вдоль магистральной линии сдвига на модели то крыло, которое на схеме линеаментов оказывается погребенным под озерными отложениями на дне Рыбинского грабена (рис. 2, а и I на рис. 2, б). Визуальное сопоставление картин показывает их схожесть, что позволяет предположить продолжение правого сдвигания вдоль Рыбинского разлома, секущего авлакоген и расположенного под юго-западным бортом Рыбинского грабена в новейшее время.

На модельной схеме сдвига можно заметить, что обе системы сколов, образовавшихся одновременно в одном поле напряжений, иногда пересекаются как сопряженные структуры. Подобное наблюдение мы можем сделать и в районе юго-западного борта Рыбинского грабена на основании морфоструктурного рисунка, проявленного на цифровой карте рельефа. Здесь, примерно в 15–17 км северо-западнее пос. Брейтово, пересекаются примерно посередине два структурных линеамента, отвечающие раскрываю-

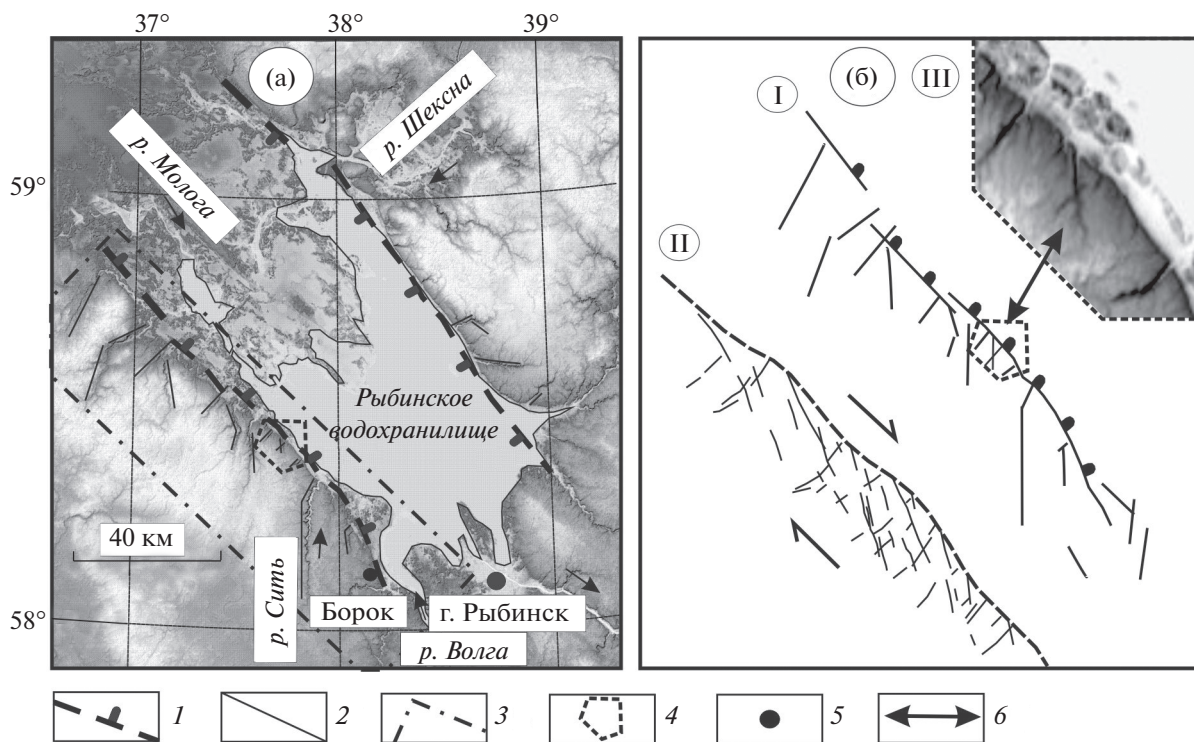


Рис. 2. Основные морфоструктурные особенности новейшего Рыбинского грабена.

(а) – цифровой рельеф района Рыбинского водохранилища и система линеаментов вдоль его юго-западного бортового уступа, (б) – обоснование существования правосдвиговой зоны под юго-западным бортом Рыбинского грабена.

I – линеаменты юго-западного борта; II – модельная схема распределения трещин в зоне сдвига (по [26]); III – фрагмент карты цифрового рельефа, на котором наблюдаются пересекающиеся прямолинейные овраги.

1 – бортовые уступы Рыбинского грабена; 2 – структурные линеаменты трещинно-разрывной природы; 3 – контуры района, в котором выделяются линеаменты; 4 – контуры участка территории, на котором согласно цифровой карте рельефа выделяются пересекающиеся структурные линеаменты (прямолинейные овраги); 5 – населенные пункты; 6 – положение фрагмента (III) на схеме линеаментов (I).

щимся к водохранилищу оврагам. Они имеют длину в 2–3 км каждый и сравнительно прямолинейны. Один из них перпендикулярен бортовому обрыву, другой расположен под острым углом, согласно общему лейтмотиву имеющихся здесь линеаментов (I и III на рис. 2, б). Наличие таких соотношений между линеаментами, установленных на основании аналогий с модельной зоной сдвига, – важное свидетельство имеющихся в этих местах сдвиговых деформаций.

Аналогичная картина наличия диагональных линеаментов прослеживается и у противоположного, северо-восточного борта Рыбинского грабена и отвечает левому сдвиганию. Однако здесь она выражена гораздо менее четко. Если новейший левый сдвиг имел место, то на основании реконструкции подвижности обоих бортов Рыбинского грабена можно говорить о некотором горизонтальном вдвижении субстрата в грабен с СЗ на ЮВ, наложенном на более явное опускание его днища. Эта картина полностью соответствует “вдвижению” клиновидного окончания Карельского массива с СЗ на ЮВ в Рыбинский грабен.

Выявление признаков повышенной неотектонической активности в районе Рыбинской морфоструктуры представляет интерес, так как в этих местах расположены не только населенные пункты, но также немного ЮВ нее проходит газопровод Ямал-Европа, который пересекает разрывы, обрамляющие Рыбинский грабен (рис. 1, б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рыбинский морфоструктурный узел входит в Среднерусскую зону дислокаций и имеет структурные признаки новейшего грабена, которые подтверждаются дистанционными данными и полевыми наблюдениями. Он расположен вдоль Рыбинского разлома, с большой амплитудой смещающего Среднерусский авлакоген, и связан с его подвижностью как присдвиговая морфоструктура. Рыбинский разлом ограничивает с запада расположенный под чехлом Русской плиты выступ Карельского массива фундамента, и смещения по разлому свидетельствуют о движении выступа вдоль него к юго-востоку. Грабен Ры-

бинского “моря” расположен напротив суженного (заостренного) окончания выступа и может быть рассмотрен как структура расклинивания перед индентором.

Картина движения (давления) заостренного края Карельского массива к югу с образованием структуры расклинивания у его окончания хорошо вписывается в выдвинутую ранее геодинамическую модель тенденции новейшего развития Карельского массива, его поперечного сплющивания в центральной части и соответствующего отодвигания выступов на окраинах. Значительное удаление южного окончания массива от источника напряжений с сохранением способности к подвижности можно, видимо, объяснить двумя причинами: свойствами Циркумбалтийского пояса, т.е. облегченной возможностью к раздвижению его субстрата перпендикулярно давлению щита, и отмеченной выше тенденцией движения щита к плите.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы Госзадания ГИН РАН № 0135-2019-0047.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Леонов М.Г.* Тектоника консолидированной коры. М.: Наука, 2008. 454 с.
2. *Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И.* Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. 299 с.
3. *Мещеряков Ю.А.* Структурная геоморфология равнинных стран. М.: Наука, 1965. 390 с.
4. Строение литосферы Балтийского щита / Н.В. Шаров. М.: Нац. Геофиз. Комитет РАН, 1993. 166 с.
5. Международная тектоническая карта Европы и смежных областей. М-б 1:2500000 / А.А. Богданов, В.Е. Хаин. М.: ГУГК, 1981.
6. *Чамов Н.П.* Строение и развитие Среднерусско-Беломорской провинции в неопротерозое. М.: ГЕОС, 2016. 233 с.
7. *Дмитровская Ю.Е., Хераскова Т.Н.* Палеогеографические и геодинамические обстановки формирования поздневендских и кембрийских отложений в центральной части Восточно-Европейской платформы // Литология и полезные ископаемые. 1999. № 6. С. 1–12.
8. *Колодяжный С.Ю., Полещук А.В., Зыков Д.С.* Латентная тектоника среднерусского пояса деформаций Восточно-Европейской платформы // Геотектоника. 2021. № 4. С. 41–72.
9. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 1. Русская платформа. Л.: Недра, 1985. 356 с.
10. *Агibalов А.О.* Неотектоническая активизация докембрийского структурного плана Северного Приладожья (юго-восток Балтийского щита). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019. 23 с.
11. *Зыков Д.С., Полещук А.В., Колодяжный С.Ю.* Признаки унаследованного неотектонического развития района Молого-Шекснинской депрессии // Геоморфология. 2021. № 4. С. 42–52. <https://doi.org/10.31857/S043542812104012X>
12. *Ананьин И.В.* К вопросу о проявлении землетрясений в восточной части Восточно-Европейской платформы. Исследования по сейсмической опасности // Вопр. инженерной сейсмологии. 1988. Вып. 29. С. 119–124.
13. *Киселев Д.Н., Баранов В.Н., Муравин Е.С., Новиков И.В., Сенников А.Г.* Атлас геологических памятников природы Ярославской области. Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2003. 120 с.
14. *Киселев Д.Н., Арефьев М.П., Баранов В.Н.* и др. Объекты геологического наследия Ярославской области: стратиграфия, палеонтология и палеогеография / Ред. И.А. Маслов, В.М. Федоров, М.А. Рогов. М.: ИД “Юстицинформ”, 2012. 304 с.
15. *Лобанов А.И.* Корреляционные признаки тиллов центра России // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. 2002. № 2. С. 27–40.
16. *Новский В.А.* О генетических типах плейстоценовых морен на Русской равнине // Очерки по истории геолого-географических знаний. Ярославль: Верхне-Волжское книжное изд-во, 1968. С. 155–164.
17. *Леонов Ю.Г.* Напряжения в литосфере и внутриплатформенная тектоника // Геотектоника. 1995. № 6. С. 3–21.
18. *Трифонов В.Г.* Неотектоника Евразии // Труды ГИН РАН. 1999. Вып. 514. 242 с.
19. *Кропоткин П.Н., Ефремов В.Н.* Тектонические напряжения на платформах и глобальные вариации сейсмичности // Геотектоника. 1993. № 5. С. 34–36.
20. *Полещук А.В., Зыков Д.С., Колодяжный С.Ю.* О признаках новейшей активизации юго-восточной окраины Балтийского щита Восточно-Европейской платформы // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2019. Т. 91. Вып. 1. С. 17–29.
21. *Зыков Д.С., Полещук А.В., Колодяжный С.Ю.* Примеры взаимодействия геодинамических систем в морфоструктуре севера Восточно-Европейской платформы (ВЕРП) // Геоморфология. 2020. № 3. С. 83–96. <https://doi.org/10.31857/S0435428120030116>
22. *Колодяжный С.Ю.* Структурно-кинематическая эволюция юго-восточной части Балтийского щита в палеопротерозое. М.: ГЕОС, 2006. 332 с.
23. *Зыков Д.С.* Новейшая геодинамика Северо-Карельской зоны (Балтийский щит) // Тр. ГИН РАН. 2001. Т. 534. 146 с.
24. *Зыков Д.С., Колодяжный С.Ю.* Признаки горизонтальных перемещений на юго-восточной окраине Балтийского щита // Геоморфология. 2007. № 4. С. 42–52. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-4-42-52>
25. *Зыков Д.С.* Морфоструктура области сочленения Восточно-Европейской и Западно-Арктической платформ как отражение горизонтальной компо-

ненты подвижности земной коры // Геоморфология. 2014. № 3. С. 62–73.
<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2014-3-62-73>

26. Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига / ред. Н.А. Логачев. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1991. 262 с.

Morphostructure of the Rybinsk Unit of the Central Russian dislocation zone as a reflection of the latest intra-platform geodynamics

D. S. Zikov^{a,#}, A. V. Poleshchuk^a, and S. Yu. Kolodyazhnyi^a

^aGeological Institute of RAS, Moscow, Russia

[#]E-mail: zikov58@yandex.ru

The problem of decoding the geodynamic features of the manifestation of the latest local horizontal intra-platform mobility of the earth's crust is poorly studied. It is revealed by the example of the junction of the Baltic shield and the Russian plate. The study is based on the previously proposed by M.G. Leonov possibility that hard crystalline rocks are subject to quasi-plastic deformations. Morphostructural analysis, which compares the geological structure and features of the relief, is used as a methodological approach. Large massifs are distinguished in the crystalline basement of the EEP. Under the influence of regional geodynamic processes, in recent times the Karelian massif of the Baltic Shield has been experiencing horizontal deformations of small amplitude, leading to its compression in the center and extension in the form of ledges on the outskirts. From the southwest, the massif is limited by the Rybinsk fault, which displaces the Central Russian aulacogen by 100 km to the southeast, as a result of which the Rybinsk morphostructural node is formed. The node is a postglacial depression with two straight sides, located above the faults in the basement. According to these the morphostructure can be defined as the neotectonic graben. Graben is located on the continuation of the narrowing edge of the Karelian massif hidden under the sediment cover. It can be associated with the removal of this edge during the general deformation of the massif, which was summarized with the movement of the shield to the plate, occurs due to tectonic processes that reveal the North Atlantic. Thus, the Rybinsk structural unit is an indicator of both the intraplate geodynamics of the Karelian massif and the impact of a wider geodynamic system associated with the disclosure of the North Atlantic and the removal of the shield.

Keywords: geodynamics, geodynamic systems, volumetric mobility, neotectonics, Russian plate, Baltic shield, morphostructure, Rybinsk graben, wedging structures

ACKNOWLEDGMENTS

The research was done in the framework of the state program tasks (No. 0135-2019-0047 (GIN RAS)).

REFERENCES

- Leonov M.G. *Tektonika konsolidirovannoi kory* (Tectonics of the consolidated crust). Moscow: Nauka (Publ.), 2008. 454 p. (in Russ.)
- Yudakhin F.N., Shchukin Yu.K., and Makarov V.I. *Glubinnoe stroenie i sovremennye geodinamicheskie protsessy v litosfere Vostochno-Evropeiskoi platformy* (Deep structure and modern geodynamic processes in the lithosphere of the East European Platform). Ekaterinburg: UrO RAN (Publ.), 2003. 299 p. (in Russ.)
- Meshcheryakov Yu.A. *Strukturnaya geomorfologiya ravninnykh stran* (Structural geomorphology lowland countries). Moscow: Nauka (Publ.), 1965. 390 p. (in Russ.)
- Stroenie litosfery Baltiiskogo shchita* (The structure of the lithosphere of the Baltic Shield). N.V. Sharov (Ed.). *Nats. Geofiz. Komitet RAN*. 1993. 166 p. (in Russ.)
- Mezhdunarodnaya tektonicheskaya karta Evropy i smezhnykh oblastei. Masshtab 1:2500000* (International tectonic map of the Europe and adjunctive regions. Scale 1:2500000). A.A. Bogdanov and V.E. Khain (Eds.). Moscow: GUGK (Publ.), 1981. (in Russ.)
- Chamov N.P. *Stroenie i razvitie Srednerussko-Belomorskoj provintsii v neoproterozoe* (The structure and development of the Central Russian–Belomorian Province in Neoproterozoic). Moscow: GEOS (Publ.), 2016. 233 p. (in Russ.)
- Dmitrovskaya Yu.E. and Kheraskova T.N. *Paleogeograficheskie i geodinamicheskie obstanovki formirovaniya pozdnevendских i kembriiskikh otlozhenii v tsentral'noi chasti Vostochno-Evropeiskoi platformy* (Paleogeographic and geodynamic conditions of formation of late Vendian and Cambrian deposits in the Central part of the East European platform). *Litologiya i poleznye iskopaemye* (Lithology and mineral resources). 1999. No. 6. P. 1–12. (in Russ.)
- Kolodyazhnyi S.Yu., Poleshchuk A.V., and Zikov D.S. *Latentnaya tektonika srednerusskogo poyasa deformatsii Vostochno-Evropeiskoi platformy* (Latent Tectonics of the Central Russian Deformation Belt of the East European Platform). *Geotektonika (Geotectonics)*. 2021. No. 4. P. 41–72. (in Russ.)
<https://doi.org/10.31857/S0016853X21040093>
- Geologicheskoe stroenie SSSR i zakonovernosti razmeshcheniya poleznykh iskopaemykh. T. 1. Russkaya platforma* (Geological structure and economic minerals of the USSR. Vol. 1: Russian Platform). L.: Nedra (Publ.), 1985. 356 p. (in Russ.)
- Agibalov A.O. *Neotektonicheskaya aktivizatsiya dokembriiskogo strukturnogo plana Severnogo Priladozh'ya (yu-*

- go-vostok *Baltiiskogo shchita*) (Neotectonic activation of the Precambrian structural plan of the Northern Ladoga (southeast Baltic shield)). PhD thesis. Moscow: MSU (Publ.), 2019. 23 p. (in Russ.)
11. Zykov D.S., Poleshchuk A.V., and Kolodyazhnyi S.Yu. *Priznaki unasledovannogo neotektonicheskogo razvitiya raiona Mologo-Sheksninskoi depressii* (The signs of inherited neotectonic development of the Mologo-Sheksna depression area). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2021. No. 4. P. 42–52. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S043542812104012X>
 12. Anan'in I.V. *K voprosu o proyavlenii zemletryasenii v vostochnoi chasti Vostochno-Evropeiskoi platformy. Issledovaniya po seismicheskoi opasnosti* (On the issue of the manifestation of earthquakes in the eastern part of the East European platform. Seismic hazard studies). *Voprosy inzhenernoi seismologii* (Seismic Instruments). Moscow: Nauka (Publ.), 1988. Issue 29. P. 119–124. (in Russ.)
 13. Kiselev D.N., Baranov V.N., Muravin E.S., Novikov I.V., and Sennikov A.G. *Atlas geologicheskikh pamyatnikov prirody Yaroslavskoi oblasti* (Atlas of geological natural monuments of the Yaroslavl region). Yaroslavl': YAGPU (Publ.), 2003. 120 p. (in Russ.)
 14. Kiselev D.N. and Aref'ev M.P. *Ob "ekty geologicheskogo naslediya Yaroslavskoi oblasti: stratigrafiya, paleontologiya i paleogeografiya* (Objects of the geological heritage of the Yaroslavl region: stratigraphy, paleontology and paleogeography). I.A. Maslov, V.M. Fedorov, and M.A. Rogov (Eds.). Moscow: Yustitsinform (Publ.), 2012. 304 p. (in Russ.)
 15. Lobanov A.I. *Korrelatsionnye priznaki tillov tsentra Rossii* (Correlation signs of tills in the center of Russia). *Vestn. Voronezh. un-ta. Geologiya*. 2002. No. 2. P. 27–40. (in Russ.)
 16. Novskii V.A. *O geneticheskikh tipakh pleistotsenovykh moren na Russkoi ravnine* (On the genetic types of Pleistocene moraines on the Russian Plain). *Ocherki po istorii geologo-geograficheskikh znanii*. Yaroslavl'. 1968. P. 155–164. (in Russ.)
 17. Leonov Yu. G. *Napryazheniya v litosfere i vnutriplatformennaya tektonika* (The stresses in the lithosphere and intraplate tectonics). *Geotektonika (Geotectonics)*. 1995. No. 6. P. 3–21. (in Russ.)
 18. Trifonov V.G. *Neotectonica Evrazii* (Neotectonics of Eurasia). *Transactions of the GIN RAS*. 1999. Vol. 514. 242 p. (in Russ.)
 19. Kropotkin P.N. and Efremov V.N. *Tektonicheskie napryazheniya na platformakh i global'nye variatsii seismichnosti* (The tectonic stress on the platforms and global variations of seismicity). *Geotektonika (Geotectonics)*. 1993. No. 5. P. 34–36. (in Russ.)
 20. Poleshchuk A.V., Zykov D.S., and Kolodyazhnyi S.Yu. *O priznakakh noveishei aktivizatsii yugo-vostochnoi okrainy Baltiiskogo shchita Vostochno-Evropeiskoi platformy* (On the sign of recent activation of southeastern area of Baltic Shield of East European Platform). *Byull. MOIP otd. geol.* 2019. Vol. 94. No. 1. P. 17–29. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S043542812104012X>
 21. Zykov D.S., Poleshchuk A.V., and Kolodyazhnyi S.Yu. *Primery vzaimodeistviya geodinamicheskikh sistem v morfostrukture severa Vostochno-Evropeiskoi platformy* (Examples of the interaction of geodynamic systems in the morphostructure of the north of the East European platform). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2020. No. 3. P. 83–96. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0435-4281-2003-0116>
 22. Kolodyazhnyi S.Yu. *Strukturno-kinematicheskaya evolyutsiya yugo-vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita v paleoproterozoe* (Structural and kinematic evolution of the South-Eastern part of the Baltic shield in the paleoproterozoic). Moscow: GEOS (Publ.), 2006. 332 p. (in Russ.)
 23. Zykov D.S. *Noveishaya geodinamika Severo-Karel'skoi zony (Baltiiskii shchit)* (The latest geodynamics of the North Karelia zone (Baltic Shield)). *Transactions of the GIN RAS*. 2001. Vol. 534. 146 p. (in Russ.)
 24. Zykov D.S. and Kolodyazhnyi S.Yu. *Priznaki gorizonta'nykh peremeshchenii na yugo-vostochnoi okraine Baltiiskogo shchita* (Indications of lateral movements in the south-east margin of the Baltic shield). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2007. No. 4. P. 42–52. (in Russ.) <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-4-42-52>
 25. Zykov D.S. *Morfostruktura oblasti sochleneniya Vostochno-Evropeiskoi i Zapadno-Arkticheskoi platform kak otrazhenie gorizonta'noi komponenty podvizhnosti zemnoi kory* (The morphostructure of the adjacent areas of the east-European and west-arctic platforms as a marker of the horizontal movements of the earth's crust). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2014. No. 3. P. 62–73. (in Russ.) <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2014-3-62-73>
 26. *Razlomoobrazovanie v litosfere. Zony sdviga* (Fault formation in the lithosphere. Shear zones). Academician N.A. Logachev (Ed.). Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1991. 262 p. (in Russ.)