

## ДИСКУССИИ

УДК 551.432 ? 551.24 (470.1/25)

**ПРИМЕРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
В МОРФОСТРУКТУРЕ СЕВЕРА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**© 2020 г. Д. С. Зыков<sup>1,\*</sup>, А. В. Полещук<sup>1</sup>, С. Ю. Колодяжный<sup>1</sup><sup>1</sup>Геологический институт РАН, Москва, Россия

\*E-mail: zikov58@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.02.2019 г.

После доработки 27.05.2019 г.

Принята к публикации 10.03.2020 г.

Установление характера вклада текущих тектонических процессов в образование морфоструктурных ансамблей – важная задача. Ее можно решить, сопоставляя морфоструктуру с теоретическими последствиями воздействия геодинамических систем. В пограничном районе Балтийского щита и Русской плиты, в пределах циркумбалтийской зоны дислокаций, существует цепочка новейших депрессий-грабенов. Расположение депрессий определяется тектонофизическими закономерностями расположения дислокаций и благоприятными локальными структурными условиями. Депрессии возникли как области растяжения при суперпозиционном взаимодействии двух соподчиненных горизонтально ориентированных новейших геодинамических систем – надавливания Балтийского щита на Русскую плиту и раздвигания геологического субстрата в месте их сочленения в перпендикулярном направлении. В северной части Прибеломорской депрессии происходит надвигание “kozyрька” Карельского массива в область встречного прогрессирующего растяжения вокруг Кандакшского грабена. Суперпозиция этих процессов отчетливо выражена в рельефе. Таким образом, образование морфоструктуры в районе находится под большим влиянием взаимодействия геодинамических систем.

*Ключевые слова:* Восточно-Европейская платформа, Балтийский щит, внутриплитная новейшая тектоника, геодинамические системы, морфоструктурные ансамбли, горизонтальные движения, тектоническая эволюция, долгоживущие зоны дислокаций

DOI: 10.31857/S0435428120030116

Статья посвящена проблеме образования морфоструктуры при совместном (в течение неотектонического этапа) взаимодействии на одной территории нескольких геодинамических систем (далее в рамках данной статьи – *геосистем*), характеризующихся проявлениями тектонических движений с преобладающей горизонтальной компонентой. Решение задачи предлагается с помощью выявления и анализа морфоструктурно-кинематических ансамблей, являющихся индикаторами объемной подвижности горных масс при внутриплитном тектогенезе, проявляющихся в зонах влияния долгоживущих зон дислокаций Восточно-Европейской платформы (далее – ВЕП).

В настоящее время тема взаимодействия субсинхронных полей деформации стала, по сути, новым направлением в исследованиях, возникшем на базе признания существования горизонтальной компоненты тектонической подвижности в новейшее время. Однако она остается мало раскрытой и представляет собой широкое поле для исследований, которые являются весьма актуальными для более детального понимания характера тектонических процессов, происходящих в земной коре и отражающихся в рельефе ее поверхности. Подробно история становления направления изложена в работе [1].

Наибольшее внимание в последнее время ей было уделено в работах В.И. Макарова, Н.В. Макаровой, В.М. Макеева, Ю.К. Шукина и их соавторов [2–3 и др.]. Было показано, что многие платформенные морфоструктуры были образованы в условиях наложения (суперпозиции) тектонических воздействий разных геодинамических систем, и описан характер этих систем. Под геодинамическими системами (сокращенно – *геосистемами*) авторы, вслед за [2], понимают участки земной коры и астеносферы, объединяющие как области генерирования тектонических напряжений, передаваемых на платформы, так и области, испытывающие влияние этих источников на самих платформах.

Исследования авторов опираются на две известные концепции, разделяемые многими учеными, принимающие возможность существования горизонтальной подвижности земной коры. Первая – воздействие на окраину ВЕП тектонических процессов, приводящих к раскрытию Атлантики [2, 4 и др.]. Вторая – возможность значительных дислокаций в консолидированной коре на всем плитном этапе развития платформ [5].

Методической основой исследования является сопоставление структурно-морфологических ансамблей в долгоживущих зонах дислокаций платформ и последствии воздействия на геологический субстрат и рельеф геодинамических систем, проявляющих себя в развитии тектоносферы в исследуемых регионах и принимаемых различными специалистами согласно известным мобилистическим взглядам. Более конкретно, в первой половине статьи северная часть ВЕП рассматривается в виде модели взаимодействия двух разделенных менее прочной зоной блоков – Русской плиты и Балтийского щита, находящегося под воздействием тектонических процессов, приводящих к раскрытию Атлантики. Во второй части, уже на более детальном уровне – взаимодействие неоднородностей внутри щита – Кандалакшского новейшего грабена и Карельского массива кристаллических пород.

В процессе исследования на основании сопоставления структуры и рельефа дислоцируемых зон с простыми тектонофизическими моделями и логическими построениями делаются заключения о тектонических взаимоотношениях щита и плиты в целом и внутренней подвижности их структурных и вещественных неоднородностей.

В статье широко используются понятия “индентор” и “расклинивание”. Под индентором подразумевается объемный блок (массив) в земной коре, который в результате внешнего воздействия надавливает на расположенную перед ним среду и вызывает образование непосредственно или на некотором расстоянии перед собой трещины расклинивания.

Авторы делают акцент на изучении горизонтальной тектонической подвижности геомасс и поэтому не разбирают специально воздействие на морфоструктуру гляциоизостатических процессов, которые, как они считают из своего исследовательского опыта, накладываются на вертикальную компоненту тектонических деформаций. Также они не используют данные высокоточной геодезии, т.к. оперируют не современными движениями, а подвижностью, накопленной в результате колебательных движений и выраженной в рельефе. Доказательством наличия современной горизонтальной подвижности геологического субстрата считают решения очагов землетрясений, показывающие горизонтальную компоненту [6].

Для самой общей иллюстрации происходящих процессов, без претензии на полную аналогию с тектоническими процессами, было выполнено упрощенное моделирование на глиняных пластинках толщиной 1 см (влажность 20%).

## МОРФОСТРУКТУРНЫЕ АНСАМБЛИ ДОЛГОЖИВУЩИХ ЗОН ДИСЛОКАЦИЙ В СОПОСТАВЛЕНИИ С ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

**Район сочленения Балтийского щита и Русской плиты.** Рельефообразующее взаимодействие геодинамических систем, в общих чертах обоснованное ранее [2], ярко про-

является на севере ВЕП. В частности, в пограничной области между Балтийским щитом (БЩ) и Русской плитой.

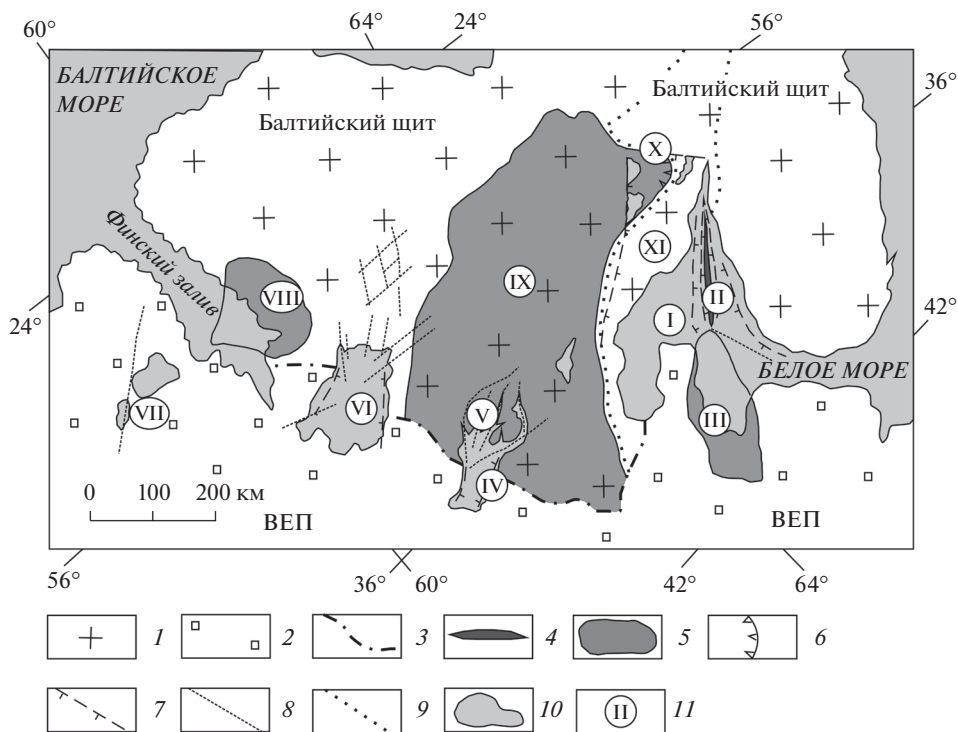
Согласно этим взглядам, под влиянием тектонических процессов спрединга, происходящих в раскрывающейся Северной Атлантике, массив Балтийского щита отодвигается к юго-востоку и надавливает на край Русской плиты, от которой он отделен зоной повышенной дислоцированности фундамента [2]. Движение это не является полностью однородным, а щит монолитным. В пределах него выделяются массивы с различными реологическими свойствами пород и системы разрывов, по которым имеют место некоторая относительная подвижность блоков и их деформация.

В районе сочленения щита и плиты и южнее, в пределах самой плиты, край щита окаймляется по дуге широким (первые сотни км) Циркумбалтийским поясом дислокаций (преимущественно разрывных), секущих фундамент ВЕП. С этим поясом пространственно ассоциируются флексура Полканова и Балтийско-Мезенская зона дислокаций [7]. В рельефе эта область относительных понижений характеризуется цепью локальных, структурно-предопределенных неотектонических депрессий [8], заполненных водоемами, из которых самыми хорошо выраженными являются бассейны Белого моря, Ладожского, Онежского и др. озер. Происхождение рельефа в пределах этой зоны дискуссионно и связывается с разными тектоническими процессами, которые могли иметь место или совместно, или последовательно. Основными являются: развитие опускания, компенсационного изостатическому поднятию щита [9], и возможное коробление поверхности фундамента, связанное с образованием положительных и отрицательных форм, как реакция литосферы на воздействие со стороны Атлантики [2]. В дополнение к этому можно отметить и возможность некоторого горизонтального перемещения (раздвигания) геологического субстрата вдоль зоны, которое может возникать при поперечном давлении на нее Балтийского щита. Этот процесс может реализовываться вследствие того, что ее края упираются в сравнительно податливые фрагменты земной коры за пределами ВЕП. На северо-востоке — в Печерскую плиту, которая имеет меньшую жесткость, чем ВЕП, и подвижна на новейшем этапе [10], а на западе — в тектонически ослабленную зону границы ВЕП. Учитывая геоструктурное положение Циркумбалтийского пояса и его неотектоническую активность, в работе [2] сделано предположение, что опускание впадин Кандалакшского прогиба, Онежского, Ладожского и др. озер, вероятно, является результатом суперпозиции опусканий земной коры в пределах пояса, с зонами растяжений и опусканий земной коры, радиальных относительно свода щита.

Происходит процесс образования цепи новейших грабенов, как справедливо отмечается в [2] — в условиях взаимодействия геодинамических систем. По нашему мнению, несколько отличному от [2] и изложенному в начале статьи, основной является система, связанная с движением БЩ вследствие спрединга в Северной Атлантике, которая преломляется в две — собственно связанной с подвижностью щита и его давлением на плиту, и производной ей системе перпендикулярного давлению раздвигания геологического субстрата в Циркумбалтийском поясе. Их взаимодействие и приводит к образованию цепи грабеновидных неотектонических депрессий по юго-восточной окраине БЩ.

Соглашаясь с проявлением в районе Циркумбалтийского пояса явлений взаимодействия геодинамических систем и с тем, что этот вопрос нуждается в дальнейших исследованиях, авторы этой статьи ставят своей задачей собрать данные о вероятных механизмах проявления локальных опусканий и уточнить характер действия геодинамических систем и их суперпозиции.

Прежде всего необходимо прояснить прерывистость расположения тектоногенных грабеновидных озерных впадин, образующих своеобразный пояс в районе сочленения БЩ и Русской плиты (рис. 1). По-видимому, в данном месте в горизонтальной плоскости проявляется хорошо изученный механизм дискретного появления дислокаций



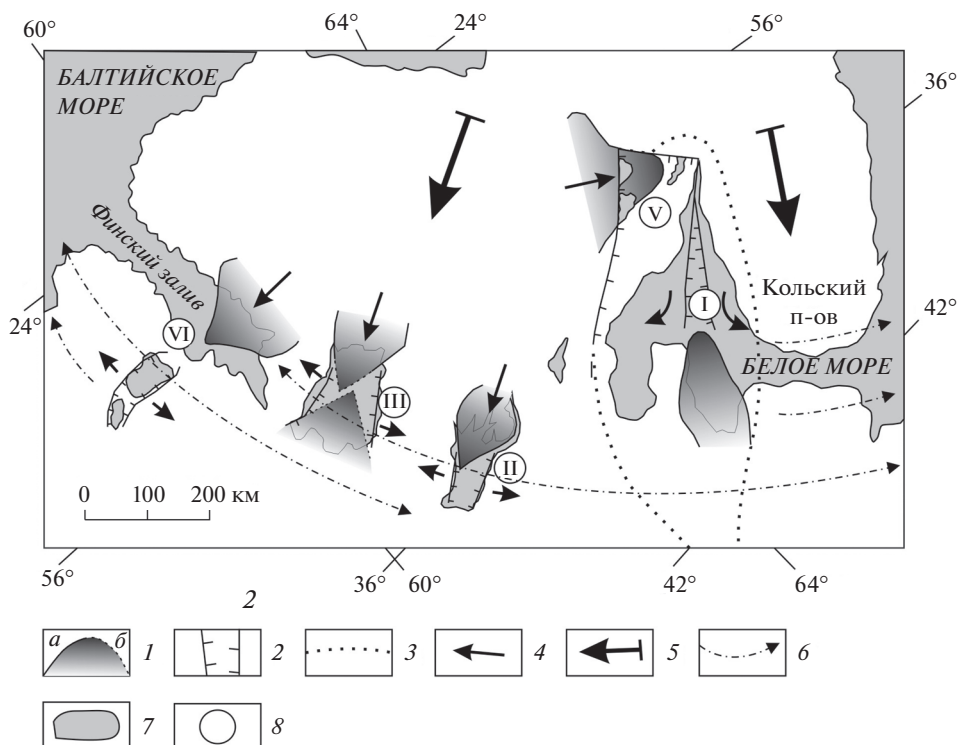
**Рис. 1.** Необходимые данные о геолого-геоморфологическом строении области сочленения Балтийского щита и Русской плиты ВЕП.

1 – кристаллические породы Балтийского щита; 2 – Русская плита; 3 – граница между щитом и плитой; 4 – осевая часть Кандалакшского грабена; 5 – обсуждаемые массивы; 6 – надвиги; 7 – сбросы; 8 – разрывы, задающие форму неоднородностей земной коры у новейших депрессий; 9 – контуры Беломорского пояса; 10 – акватории; 11 – номера объектов, обсуждаемых в тексте.

в деформируемом под нагрузкой массиве. Появление трещин (в нашем случае – растяжения) на примерно равных расстояниях друг от друга связывают с появлением области снятия напряжений вокруг каждой образовавшейся трещины и развития соседней трещины за пределами этой области [11].

Однако, поскольку расстояния между депрессиями все же разнятся, можно предположить, что на распределение мест грабеновидных дислокаций влияют также и другие факторы, которые, вероятно, связаны с благоприятными структурно-геологическими условиями. Представляет интерес рассмотреть вопрос, в каких же конкретных структурно-тектонических условиях реализовывались локальные опускания, и каков на этом уровне механизм проявления суперпозиции, приведший к опусканиям.

Прибеломорская депрессия находится в северо-восточной части БЩ и располагается как на кристаллическом фундаменте щита, так и на чехольных комплексах Русской плиты (рис. 2). В ее центральной части расположена ванна Белого моря (I на рис. 1). Депрессия вытянута с северо-запада на юго-восток, имеет линзовидную в плане форму и размеры примерно 600 × 250 км. Она маркирует крупную область неотектонического прогибания у края ВЕП. По своему происхождению она может рассматриваться как крупная трещина отрыва, ориентированная вдоль оси сжатия, распространяющегося от Северной Атлантики [12]. В северо-западной части Белого моря



**Рис. 2.** Характер взаимодействия геодинамических систем на севере ВЕП.

1 – массивы кристаллических пород, являющиеся важными рельефообразующими неоднородностями в земной коре; 2 – границы областей растяжения, возникающих напротив инденторов; 3 – приблизительные границы Прибеломорской депрессии; 4 – направление перемещения инденторов; 5 – направление движения Балтийского щита; 6 – направление перемещения геологического субстрата в Циркумбалтийской зоне; 7 – акватории; 8 – номера объектов, обсуждаемых в тексте.

расположена вложенная в Прибеломорскую Кандалакшская депрессия. Она вытянута в северо-западном направлении, имеет линзовидную в плане форму и размеры примерно  $250 \times 70$  км (II на рис. 1). Глубина ее составляет более 300 м и является максимальной для всего Беломорья, что делает депрессию геоморфологической аномалией, необъяснимой с позиций чисто денудационного происхождения. На ее бортах устанавливаются многочисленные сбросовые уступы в коренных породах. К ней приурочена значительная сейсмичность. Эти и ряд других важных особенностей позволяют считать ее новейшим грабеном [13].

Юго-восточнее Кандалакшского грабена на одной оси с ним расположен вытянутый в плане выступ земной коры, называемый Архангельским (III на рис. 1). Часть его расположена под водами Белого моря, которое в этих местах сравнительно мелководно, часть – под долиной реки Сев. Двина. Он имеет размеры примерно  $250 \times 100$  км, сложен архейскими кристаллическими породами и отделен по периметру от остального массива пород фундамента глубокими (до 7 км глубиной) протерозойскими палеорифтами, имеющими разломные границы [14]. Кандалакшский грабен расположен напротив суженного конца Архангельского выступа, и их совместная длинная ось совпадает с направлением давления БЩ на Русскую плиту. Учитывая это и то, что структура в целом находится в пределах Циркумбалтийского пояса, окончания кото-

рого не имеют достаточно жестких упоров на обрамлении ВЕП, можно считать, что в появлении новейшего грабена участвует и процесс расклинивания. Оно имеет место перед Архангельским выступом при придвигании к нему массива БЩ, и за счет потенциальной возможности раздвигания рамы в условиях проявления латеральной подвижности в Циркумбалтийском поясе [10].

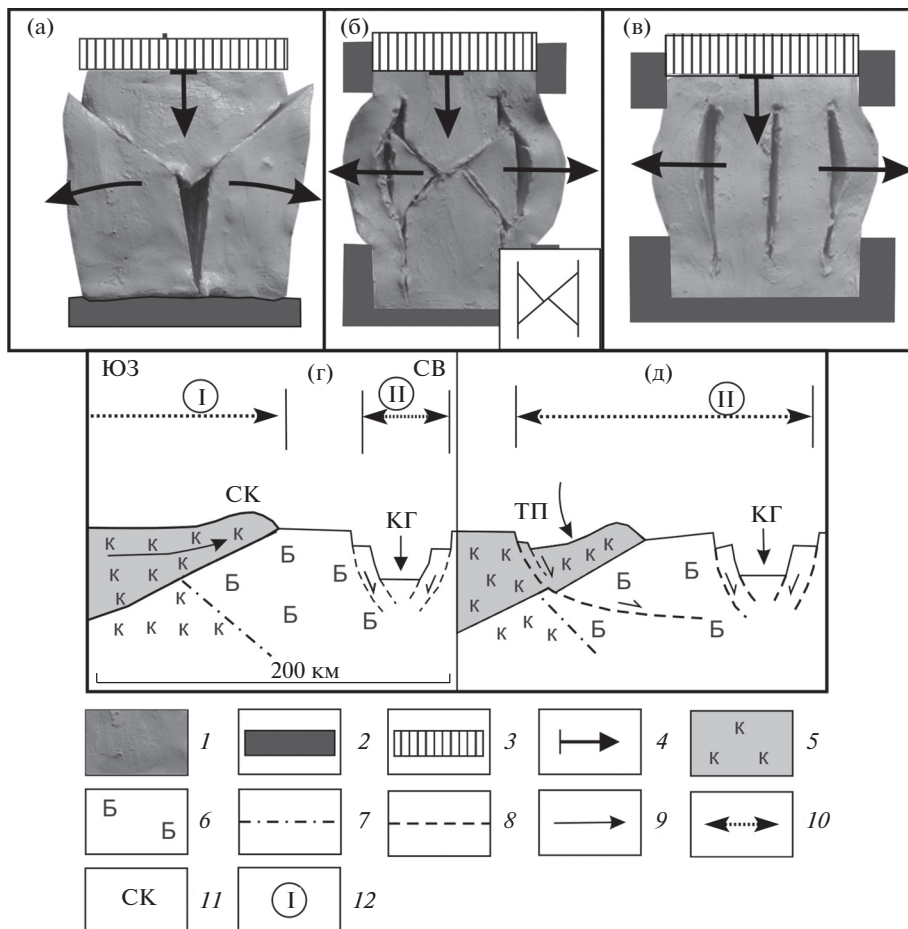
Следующим крупным звеном в цепи депрессий, обрамляющих БЩ с юга и входящих в Циркумбалтийский пояс, является морфоструктура Онежского озера, расположенная в 200 км к юго-западу от Белого моря. Основная, юго-восточная часть депрессии имеет трапецевидную, сужающуюся к юго-востоку в плане форму, с длинной осью, простирающейся в северо-западном направлении (IV на рис. 1). Расположена озерная ванна, в основном, на кристаллических породах щита, морфоструктурные и геологические особенности позволяют считать ее унаследованным новейшим грабеном [8].

Северо-западная часть Онежской морфоструктуры представлена Заонежским полуостровом, который имеет изометричную в плане форму и диаметр около 100 км. В рельефе полуостров образует форму пологого купола, осложненного узкими заливами, озерами и грядами (V на рис. 1). В основании Заонежского полуострова расположена мульда, сложенная дислоцированными метаморфическими нижнепротерозойскими комплексами пород первично осадочного или вулканогенного происхождения, общая мощность которых составляет около 3 км. Мульда обрамляется разломами, которые подчеркивают границы купола. Немного северо-восточнее купола, под акваторией, разрывы, подходящие со стороны Повенецкого залива, и разрывы в районе западного борта озера пересекаются, и юго-восточное (в сторону основной ванны Онежского озера) окончание мульды в рисовке разломов становится заостренным [15, 16 и др.].

Можно считать, что наличие локализованной в одном месте сравнительно мало-мощного уплощенного геологического тела, сложенного протерозойскими породами, свидетельствует о наличии в земной коре в районе Заонежского п-ова, под мульдой, блока земной коры, имеющего почти изометричную, заостренную с юго-востока в плане форму. Обособился он, видимо, еще в протерозое и уже тогда выделялся по своим свойствам и опустился как единое целое, дав возможность накопиться над ним осадочно-вулканогенным породам. Одновременно на его продолжении к юго-востоку, в сторону плиты, наблюдается новейший грабен (выраженный основной ванной Онежского озера), расширяющийся в сторону заостренного конца этого блока и тесно к нему прилегающий.

Возвращаясь к концепции давления БЩ в сторону Русской плиты и существования по периметру щита Циркумбалтийского пояса, в котором, возможно, некоторое горизонтальное перераспределение субстрата перпендикулярно давлению щита, можно сделать заключение о механизме появления новейшего грабена. В таких геодинамических и структурных условиях его раскрытие может происходить при обусловленном движением щита клиновидном вдавливании линзовидного блока в структурированную разломами средо фундамента ВЕП в районе Циркумбалтийского пояса и раздвигании последней с опусканием земной коры напротив клиновидного блока (II на рис. 2). Модель этого процесса показана на рис. 3 (а).

В 200 км к юго-западу от депрессии Онежского озера расположена следующая крупная депрессия Циркумбалтийского пояса – Ладожская (VI на рис. 1). Она генерально имеет в плане прямоугольную, немного расширяющуюся по длинной оси к юго-востоку форму и размеры примерно 300×150 км. Расположена она, главным образом, на кристаллических породах (Свекофеннидах) БЩ, в юго-восточной части перекрытых чехлом осадочных пород Русской плиты, мощность которых сравнительно незначительна и нарастает к юго-востоку. В морфоструктурном облике депрессии (особенно ярко в северо-западной части) большую роль играют разрывные нарушения, которые, в частности, определяют прямолинейные в плане формы берегов и ре-



**Рис. 3.** Иллюстративные модели обсуждаемых морфоструктурных ансамблей.

*Деформации, возникающие в глине в условиях одноосного сжатия и наличия исходных структурных неоднородностей (прорезов):* (а) – расклинивание перед индентором, (б) – сдвигание структурно-обусловленных клиньев с взаимным проскальзыванием и раздвигание бортов в результате расклинивания (на врезке исходная система прорезов), (в) – образование зонияций (областей растяжения) у структурных неоднородностей (прорезов) напротив мест, где границы штофа глины не имеют жестких боковых упоров.

*Модель взаимодействия геодинамических систем в Северной Карелии (в разрезе):* (г) – выдвигание козырька пород Карельского массива над бломоридами в районе Северо-Карельской зоны, (д) – включение надвигающегося козырька карелид в область опускания вокруг Кандалакшского грабена.

1 – глина; 2 – жесткие ограничивающие упоры; 3 – штампы; 4 – направление движения глины; 5 – карелиды; 6 – бломориды; 7 – граница между комплексами; 8 – сбросы; 9 – направление движения геологического субстрата; 10 – области воздействия геодинамических систем на разрезах; 11 – названия морфоструктур; 12 – геодинамические системы; I – геосистема надвигания края Карельского массива; II – геосистема области растяжения вокруг Кандалакшского грабена; СК – Северо-Карельская зона; КГ – Кандалакшский новейший грабен; ТП – тыловой прогиб перекашивающегося блока (озера Топозеро и Пяозеро).

льеф дна водоема. Эта депрессия также рассматривается как унаследованный новейший грабен [8].

В районе озера по геологическим и геоморфологическим данным устанавливается сеть крупных разрывов, имеющих продольную и диагональную длинной оси озера ориентировку, разделяющих кристаллические породы на блоки с клиновидными за-

остренными концами (см. рис. 1) [15, 17 и др.]. Их происхождение можно отнести к ригматической сети, которая активизируется в соответствии с тектоническими напряжениями.

Как и в предыдущих случаях, Ладожская депрессия образовалась в районе, с одной стороны, подверженном давлению со стороны БЩ, с другой — имеющим потенциальную возможность для некоторого горизонтального перераспределения субстрата поперек этого давления (в Циркумбалтийском поясе).

Учитывая это, можно считать, что, кроме геодинамических условий, именно структурные особенности района — наличие диагональных и продольных оси грабена систем разрывов — сделали возможным появление области растяжения и опускания в этом месте. Механизм такого процесса проиллюстрирован экспериментом на глине (рис. 3, б). В нем к пластинке глины, в которой были сделаны диагональные и параллельные сжатию прорезы, было приложено одноосное сжатие, в результате которого борта пластинки раздвинулись, а клиновидные блоки проскользнули друг относительно друга без признаков сжатия на границах.

В природе, в районе депрессии, блоки земной коры, нарезаемые разрывами на клинья, за счет давления щита вдвигаются навстречу друг другу в раму из ограничивающих грабен параллельных разрывов и инициируют раздвижение ее вдоль Циркумбалтийского пояса в условиях его продольной подвижности вдоль края щита. В результате образуется зона локального растяжения, выраженная депрессией Ладожского озера (III на рис. 2).

Примерно в 200 км к юго-западу от Ладожской расположена Псково-Чудская депрессия, заполненная водами соответствующих озер. Расположена она в пределах Циркумбалтийского пояса, в плане вытянута в север-северо-западном направлении и имеет размеры 150 × 50 км (включая оба озера) (VII на рис. 1). В отличие от предыдущих, эта депрессия расположена исключительно в местах, где фундамент полностью перекрыт породами чехольного комплекса, и разрывные нарушения меньше влияют на рельеф. Во время последнего оледенения район депрессии подвергался воздействию ледника, и экзогенная составляющая в ее образовании не вызывает сомнения. Однако представляется возможным предложить и новую концепцию ее образования за счет проявления горизонтальных деформаций земной коры.

Для этого обратим внимание на противоположный, северный берег Финского залива напротив Чудского озера. Здесь, в области Свекофенид БЩ расположен крупный Выборгский массив гранитов рапакиви (VIII на рис. 1). В плане он имеет почти изометричную форму при диаметре примерно 200 км, однако она осложнена хорошо выраженным клиновидным выступом, направленным к югу, в сторону Псково-Чудской депрессии [18], от которой отстоит примерно на 100 км. В разрезе массив представляет собой геологическое тело, имеющее сравнительно незначительную мощность (около 3–4 км) по сравнению с площадью и залегающее почти горизонтально. Вместе с этим геофизические данные (по СЗ-ЮВ профилю) показывают, что границы массива определяются крупными разломами, субвертикально, с некоторым схождением, уходящими в подстилающий кристаллический субстрат на глубину до 40 км, а значит, массив маркирует крупный блок земной коры, являющийся ее существенной неоднородностью.

Учитывая взаимное расположение блока кристаллических пород, маркируемых Выборгским массивом, и Псково-Чудской депрессии, их формы в плане и место среди геодинамических систем, можно предложить тектоническую концепцию образования последней за счет горизонтальной подвижности земной коры.

Выборгский массив (вместе с подстилающим его блоком земной коры) входит в состав БЩ и вместе с ним участвует в давлении [2] на Русскую плиту. При этом основное воздействие на нее он, безусловно, оказывает своим заостренным клиновидным



выступом, направленным в ее сторону. На этой плите, в пределах Циркумбалтийского пояса, имеющего возможность для латерального раздвигания субстрата, под воздействием этого выступа и на некотором расстоянии от него за счет расклинивания образуется трещина отрыва (точнее, область рассеянного растяжения), выраженная вытянутой Псково-Чудской депрессией (VI на рис. 2). Такие случаи расклинивания, когда трещина отстоит от индентора на некоторое расстояние, характерны для слабо структурированной среды и описаны в литературе [19].

Таким образом, надавливание БЩ на Русскую плиту в новейшее время (видимо, под воздействием тектонических процессов в Северной Атлантике) приводит к раздвиганию ее субстрата на границе со щитом в стороны от направления его давления. Модельная иллюстрация этого процесса показана на рис. 3 (в). В результате в дискретно расположенных местах с благоприятными структурными особенностями происходит процесс растяжения и опускания. Он связан с механизмом расклинивания, при котором, при сближении щита и плиты перед расположенными по оси сжатия заостренными блоками земной коры, образуются области раздвигания, выраженные депрессиями. В результате по юго-восточной окраине БЩ образуется цепь неотектонически обусловленных озерных ванн.

**Прибеломорский прогиб.** Процесс взаимодействия геодинамических систем менее масштабного ранга наблюдается в пределах восточной части БЩ в районах Северной Карелии, в зоне влияния Беломорско-Двинской зоны [7]. В этих местах контактируют две крупные структурные единицы БЩ – Карельский массив (IX на рис. 1) и Беломорский пояс (см. рис. 1). Оба они сложены во многом схожими кристаллическими породами фундамента и различаются особенностями – временем консолидации, степенью и характером включения более поздних протерозойских комплексов и т.п.

В районах северной Карелии Карельский массив представлен своим выступающим краем, который в виде дуги, обращенной в северо-восточном направлении, заходит в область Беломорид (X на рис. 1). Размеры этого выступа примерно 100×100 км. По внешнему краю он осложнен Северо-Карельской зоной концентрированных дислокаций. Выступ надвинут в северо-восточном направлении по дугообразному фронту надвигов [16, 20 и др.]. Судя по геофизическим данным, в целом породы Беломорского пояса надвинуты на Карельский массив, однако в районе Северо-Карельской зоны в виде “козырька” существуют обратные взаимоотношения [21].

В работе [22] был отмечен ряд морфоструктурных признаков, свидетельствующих об общем (видимо, малоамплитудном) движении выступа вместе с Северо-Карельской зоной в северо-восточном направлении в новейшее время. Прежде всего это наличие у зоны сравнительно более высокого рельефа по отношению к окружающей ее полого-холмистой равнине, существование преднадвиговой депрессии перед фронтальными надвигами, а также образование характерных присдвиговых депрессий у сдвигов на флангах выступа, выраженность сдвигов и надвигов в ландшафте и рельефе и ряд других признаков. Также было показано, что отодвигание выступа связано с деформацией всего Карельского массива в парагенезе с раскрытием Прибеломорской депрессии, и, что этот процесс происходил за счет влияния раскрывающейся Атлантики на щит и соответствующих деформаций его неоднородностей [12, 22].

Как уже отмечалось, в северо-восточной части БЩ расположена Прибеломорская депрессия, маркирующая крупную область новейшего опускания, которая достигает максимума в Кандалакшском грабене (II на рис. 1) [13]. Прибеломорская депрессия расположена в основном в пределах Беломорского пояса и краями заходит на Карельский массив. Как наличие развивающегося Кандалакшского грабена, так и включение окружающих территорий в опускание свидетельствуют о продолжающемся расширении морфоструктуры.

В частности, к юго-западу от Кандалакшского грабена, на его Карельском борту, выделяется обширный блок земной коры размером  $150 \times 200$  км, который с северо-запада и юго-запада ограничен крупными рельефообразующими разрывами (XI на рис. 1). В пределах этого блока наблюдается полого-волнистый, сравнительно пониженный относительно окружающих территорий рельеф, а на стороне блока, противоположной грабену, наблюдаются два крупных озера (оз. Пяозеро и Топозеро), маркирующих приразломную депрессию. Судя по их прижато к тыловому шву блока положению, они подчеркивают перекося его поверхности от грабена. Учитывая общую относительно пониженность рельефа в пределах блока и его перекося, можно утверждать, что блок маркирует область растяжения, включившую в себя пространство вокруг Кандалакшского грабена в связи с разрастанием всей Прибеломорской депрессии, и соответствующего отодвигания края области растяжения.

Обе крупные морфоструктуры, описанные выше, сосуществуют в одном и том же пространстве – выступ Карельского массива с Северо-Карельской зоной выдвигается в сторону Кандалакшского грабена в пределы беломорид, а область растяжения у Кандалакшского грабена, ограниченная крупным разрывом, распространяясь навстречу, накладывается на него, как бы подсекая его у основания (V на рис. 2).

Морфоструктуры являются проявлениями неотектонической активности двух геодинамических систем. Выступ связан с деформациями Карельского массива и отодвиганием его края [22], а область растяжения у Кандалакшского грабена – с разрастанием Прибеломорской депрессии (мегатрещины отрыва) вдоль края ВЕП [23]. В исследуемом районе происходит взаимодействие этих систем, и механизм этого процесса можно предположить по наблюдаемым результатам.

Судя по тому, что следы воздействия обоих геодинамических систем сосуществуют в рельефе независимо, в хорошо выраженном виде, можно говорить о том, что развитие геосистем происходит в неотектоническое время практически параллельно, одновременно, или импульсами по очереди, и надвигание края массива сопровождается противоборствующим наложением на него расширяющейся области растяжения (рис. 3, г, д). Модель процесса можно ассоциировать с направленным течением ледникового языка через уступ в коренных породах основания, когда на поверхности льда наблюдаются и следы направленного течения, и отражается наличие подледникового уступа. В нашем случае, однако, за то время, когда деформации отразились в рельефе, скорости и амплитуды подвижности в кристаллических породах несопоставимо меньше и имеют лишь характер тенденций в развитии.

## ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

В северной части ВЕП, по существующим взглядам [2–4], в новейшее время проявляет себя масштабная геодинамическая система, в которой под влиянием глубинных тектонических процессов, приводящих к раскрытию Северной Атлантики, БЩ приподвигается в сторону Русской плиты. При этом в их пограничной области (Циркумбалтийском поясе, с которым частично ассоциируются зоны Полканова и Балтийско-Мезенская) возникает собственная, производная геодинамическая система, в которой происходит некоторое раздвигание геологического субстрата перпендикулярно направлению щита при отсутствии жестких упоров на флангах этой области на внешнем обрамлении ВЕП. В этих местах образовалась прерывистая цепочка неотектонических депрессий (грабенов), образующих структурно-морфологический ансамбль и являющихся индикаторами внутриплитного тектогенеза.

Грабены образовались за счет суммарного взаимодействия обоих геодинамических систем – давления щита с северо-запада и раздвигания субстрата в перпендикулярном направлении. Происходит это в дискретно образующихся узлах снятия напряжений в

массиве пород и в благоприятных структурных условиях, механизмом которого является раздвижение кристаллических пород у клиновидных структурных неоднородностей.

В районе Северной Карелии наблюдается горизонтальный выступ края Карельского массива, который по морфоструктурным признакам в новейшее время имеет тенденцию к движению в сторону Кандалакшского грабена. Одновременно с этим вокруг грабена наблюдается область морфоструктурно выраженного растяжения, которая накладывается на выступ, видимо, в процессе своей встречной проградации. Следы воздействия обоих геодинамических систем хорошо выражены в рельефе, что свидетельствует об их параллельном (вероятно, импульсно-поочередном) развитии в неотектонический этап.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование проводилось при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00485 и в рамках программы государственного задания (тема № 0135-2016-0012).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зыков Д.С., Полещук А.В. О некоторых результатах взаимодействия геодинамических систем на Восточно-Европейской платформе в новейшее время // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2016. Т. 91. Вып. 1. С. 3–14.
2. Юдахин Ф.Н., Шукин 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. Макаров В.И., Макарова Н.В., Несмеянов С.А., Макеев В.М., Дорожко А.Л., Зайцев А.В., Зеленищев Г.В., Серебрякова Л.И., Суханова Т.В. Новейшая тектоника и геодинамика: область сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. М.: Наука, 2006. 206 с.
4. Копп М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2004. 304 с.
5. Леонов М.Г. Тектоника консолидированной коры. М.: Наука, 2008. 454 с.
6. Assinovskaya B.A., Shchukin J., Gorshkov V., and Shcherbakova N. On recent geodynamics of the Eastern Baltic Sea region // Baltica. 2011. Vol. 24. No. 2. P. 61–70.
7. Колодяжный С.Ю. Долгоживущие структурные ансамбли Восточно-Европейской Платформы. Статья 3. Тектоника плитного чехла // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2018. № 4. С. 5–16.
8. Бискэ Г.С., Лукашов А.Д., Экман И.М. О связи котловин крупнейших озер северо-запада СССР с тектоникой // Новейшие и современные движения земной коры восточной части Балтийского шгта. Петрозаводск: Изд-во КФ АН СССР, 1974. С. 35–42.
9. Никонов А.А., Энман С.В., Флейфель Л.Д. Современные и позднеголоценовые вертикальные движения земной коры в юго-восточной Балтике – переходной зоне к Фенноскандинавской плите // Физика Земли. 2009. № 8. С. 51–65.
10. Зыков Д.С., Балугев А.С. Особенности новейшего развития структуры Баренцево-Карского шельфа // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2010. Т. 85. Вып. 6. С. 3–13.
11. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.
12. Зыков Д.С. Морфоструктура области сочленения Восточно-Европейской и Западно-Арктической платформ как отражение горизонтальной компоненты подвижности земной коры // Геоморфология. 2014. № 3. С. 62–73.  
<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2014-3-62-73>
13. Невесский Е.Н., Медведев В.С., Кальниченко В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене М.: Наука, 1977. 236 с.

14. *Балуев А.С., Журавлев В.А., Терехов Е.Н., Пржиялговский Е.С.* Тектоника Белого моря и прилегающих территорий (объяснительная записка к “Тектонической карте Белого моря и прилегающих территорий масштаба 1:1500000”) / Под ред. М.Г. Леонова. М.: ГЕОС, 2012. 104 с.
15. Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2004. 353 с.
16. *Колодяжный С.Ю.* Структурно-кинематическая эволюция юго-восточной части Балтийского щита в палеопротерозое / Под ред. М.Г. Леонова. М.: ГЕОС, 2006. 332 с.
17. *Лукашов А.Д.* Новейшая тектоника Карелии. Л.: Наука, 1976. 109 с.
18. Анортозит-рапакивигранитная формация Восточно-Европейской платформы / Под ред. Ф.П. Митрофанова. Л.: Наука, 1978. 296 с.
19. *Копп М.Л.* Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе. М.: Науч. мир, 1997. 313 с.
20. *Сыстра Ю.Й.* Тектоника Карельского региона. Л.: Наука, 1991. 176 с.
21. Строение литосферы Балтийского щита / Под ред. Н.В. Шарова. М.: Нац. геофиз. комитет РАН, 1993. 166 с.
22. *Зыков Д.С.* Новейшая геодинамика Северо-Карельской зоны (Балтийский щит). М.: ГЕОС, 2001. 146 с.
23. *Зыков Д.С., Шукин Ю.К., Спунгин В.Г., Иоффе А.И.* Возможные морфоструктурные проявления горизонтального расклинивания в Земной коре (Северная Карелия). Геоморфология. 2007. № 1. С. 64–71.  
<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-1-64-70>

### Examples of the interaction of geodynamic systems in the morphostructure of the North of the East European platform

D. S. Zыkov<sup>a, #</sup>, A. V. Poleshchuk<sup>a</sup>, and S. Yu. Kolodyazhnyi<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Geological Institute of RAS, Moscow, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: zыkov58@yandex.ru*

To determine the nature of the contribution of current tectonic processes to the formation of morphostructural ensembles is an important task. This can be done by comparing the morphostructure with the expected consequences of the impact of geodynamic systems. In the border area of the Baltic Shield and the Russian Plate, within the Circumbaltic zone of dislocations, there is a chain of recent graben depressions. The location of the depressions is determined by the tectonophysical patterns of dislocation sampling and favorable local structural conditions. Depression arose as areas of tension with the superpositional interaction of two subordinate horizontally oriented newest geodynamic systems – pressing the Baltic shield onto the Russian Plate and pushing the geological substrate at the point of their junction in the perpendicular direction. In the northern part of the White Sea Depression, the “visor” of the Karelian massif is approaching to the region of oncoming progressive stretching around the Kandalaksha graben. The superposition of these processes is clearly expressed in relief. Thus, the formation of morphostructures in the area is strongly influenced by the interaction of geodynamic systems.

*Keywords:* East European platform, Baltic shield, intraplate neotectonics, morphological & structural ensembles, geodynamic systems, horizontal movements, tectonic evolution, long-lived dislocation zones

### ACKNOWLEDGMENTS

The research was supported by the RFBR grant No. 18-05-00485 and as part of the state assignment program (topic No. 0135-2016-0012).

## REFERENCES

1. Zykov D.S. and Poleshchuk A.V. On some results of the interaction of geodynamic systems on the East European platform in recent times. *Bul. MOIP*. 2016. Vol. 91. No. 1. P. 3–14. (in Russ.)
2. Yudahin 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.
3. Makarov V.I., Makarova N.V., Nesmeyanov S.A., Makeev V.M., Dorozhko A.L., Zaitsev A.V., Zelenshchikov G.V., Serebryakova L.I., and Suhanova T.V. *Noveishaya tektonika i geodinamika: oblast' sochleneniya Vostochno-Evropeiskoi platformy i Skifskoi plity* (The latest tectonics and geodynamics: the area of articulation of the East European platform and the Scythian plate). M.: Nauka (Publ.), 2006. 206 p.
4. Kopp M.L. *Mobilisticheskaya neotektonika platform Yugo-Vostochnoi Evropy* (Mobilistic neotectonics of the platforms of South-Eastern Europe). M.: Nauka (Publ.), 2004. 304 p.
5. Leonov M.G. *Tektonika konsolidirovannoi kory* (Consolidated crust tectonics). M.: Nauka (Publ.), 2008. 454 p.
6. Assinovskaya B.A., Shchukin Yu., Gorshkov V., and Shcherbakova N. On recent geodynamics of the Eastern Baltic Sea region. *Baltica*. 2011. Vol. 24. No. 2. P. 61–70. (in Russ.)
7. Kolodyazhnyi S.Yu. Long-lived structural ensembles of the East European platform. Article 3. Tectonics of the platform's cover. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka (Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration)*. 2018. No. 4. P. 5–16. (in Russ.). <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2018-4-5-16>
8. Biske G.S., Lukashov A.D., and Ekman I.M. *O svyazi kotlovin krupneishikh ozer Severo-zapada SSSR s tektonikoi* (On the connection of the basins of the largest lakes of the North-West of the USSR with tectonics). *Noveishie i sovremennye dvizheniya zemnoi kory vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita* (The newest and modern movements of the Earth's crust of the eastern part of the Baltic Shield). Petrozavodsk: KF of AS of USSR (Publ.), 1974. P. 35–42. (in Russ.)
9. Nikonov A.A., Enman S.V., and Fleifel L.D. Modern and Late Holocene vertical movements of the earth's crust in the south-eastern Baltic – the transition zone to the Fennoscandinavian plate. *Fizika Zemli (Izvestiya, Physics of the Solid Earth)*. 2009. No. 8. P. 51–65. (in Russ.)
10. Zykov D.S. and Baluev A.S. Features of the newest development of the structure of the Barents-Kara shelf. *Bul. MOIP. Otd. geolog.* 2010. Vol. 85. No. 6. P. 3–13. (in Russ.)
11. Gzovskii M.V. *Osnovy tektonofiziki* (Basics of tectonophysics). M.: Nauka (Publ.), 1975. 536 p.
12. Zykov D.S. 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>
13. Nevesskii E.N., Medvedev V.S., and Kalnichenko V.V. *Beloe more. Sedimentogenez i istoriya razvitiya v golotsene* (White Sea. Sedimentogenesis and the history of development in the Holocene). M.: Nauka (Publ.), 1977. 236 p.
14. Baluev A.S., Zhuravlev V.A., Terekhov E.N., and Przhiyalgovski E.S. *Tektonika Belogo morya i prilgaiushchikh territorii (ob'yasnitel'naya zapiska k Tektonicheskoi karte Belogo morya i prilgayushchikh territorii masshtaba 1:1500000)*. (Tectonics of the White Sea and adjacent territories (explanatory note to the Tectonic map of the White Sea and adjacent territories of 1: 1500000 scale). M.G. Leonov (Ed.). M: GEOS (Publ.), 2012. 104 p.
15. *Glubinnoe stroenie i seismichnost' Karelskogo regiona i ego obramleniya* (The deep structure and seismicity of the Karelian region and its framing). N.V. Sharov (Ed.). Petrozavodsk: KNTs RAN (Publ.), 2004. 353 p.
16. Kolodyazhnyi S.Yu. *Strukturno-kinematicheskaya evolyutsiya yugo-vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita v paleoproterozoe* (Structural and Kinematic Evolution of the Southeastern Baltic Shield). M.G. Leonov (Ed.). M.: GEOS (Publ.), 2006. 332 p.
17. Lukashov A.D. *Noveishaya tektonika Karelii* (The newest tectonics of Karelia). L.: Nauka (Publ.), 1976. 109 p.

18. *Anortozit-rapakivigranitnaya formatsiya Vostochno-Evropеiskoi platformy*. (Anorthosite-rapakivi granite formation of the East European platform). F.P. Mitrofanov (Ed.). L.: Nauka (Publ.), 1978. 296 p.
19. Kopp M.L. *Struktury lateral'nogo vyzhmaniya v Alpiisko-Gimalaiskom kollizionnom poyase* (Structures of lateral extrusion in the Alpine-Himalayan collision belt). M.: Nauchnyi mir (Publ.), 1997. 313 p.
20. Systra Yu.I. *Tektonika Karel'skogo regiona* (Tectonics of the Karelian region) L.: Nauka (Publ.), 1991. 176 p.
21. *Stroenie litosfery Baltiiskogo shchita* (The structure of the lithosphere of the Baltic Shield). N.V. Sharov (Ed.). M.: Nats. Geofiz. Comitet RAN (Publ.), 1993. 166 p.
22. Zykov D.S. *Noveishaya geodinamika Severo-Karel'skoi zony (Baltiiskii shchit)*. (The latest geodynamics of the North Karelia zone (Baltic Shield)). M.: GEOS (Publ.), 2001. 146 p.
23. Zykov D.S., Shchukin Yu.K., Spungin V.G., and Ioffe A.I. Possible morphostructural manifestations of horizontal wedging in the Earth's crust (North Karelia). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2007. No. 1. P. 64–71. (in Russ.).  
<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-1-64-70>