

УДК 551.470.324+477

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЕ В НОВЕЙШЕЕ ВРЕМЯ

Д.С. Зыков, А.В. Полещук

Геологический ин-т РАН, Москва

Поступила в редакцию 11.12.15

Анализ влияния геодинамических систем (Скандинавской, Карпатской, Уральской и Кавказской) на Восточно-Европейскую платформу (ВЕП) выявляет признаки субсинхронного парагенетического взаимодействия этих геосистем на новейшем этапе. В пределах центральной и северной частей ВЕП установлены свидетельства структурирования разноранговых аккомодационных поясов новейших поднятий и впадин: а) трансплатформенного, простирающегося по пологой дуге между Карпатским и Уральским орогенами; б) флексуры А.А. Полканова (1956), ограничивающей с юго-востока Балтийский щит. Кинематические реконструкции развития эллипсоидной аккомодационной морфоструктуры Балтийского щита иллюстрируют процесс ее формирования вследствие взаимодействия гляциоизостатического и тектонического факторов.

Ключевые слова: Восточно-Европейская платформа, геодинамические системы, горизонтальные движения, неотектонический этап, структурная аккомодация.

Zykov D.S., Poleshchuk A.V. Interaction of geodynamic systems of East European Platform in recent times. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2016. Volume 91, part 1. P. 3–14.

Analysis of the effect of geodynamic systems (Nordic, Carpathian, Urals and Caucasus) on the East European Platform (EEP) reveals signs almost synchronously paragenetic interaction of geosystems on the latest stage. Within the Central and Northern parts of EEP the signs of accommodative structure of different zones of recent uplifts and depressions are shown: a) transpersion extending along a gentle arc between the Urals and Carpathian orogens; b) flexure of Polkanov (1956), bounding with the South-Eastern Baltic Shield. Kinematic reconstructions of the development of elliptical accommodative morphological structure of the Baltic Shield are illustrating the process of its formation due to the interaction glacioisostatic and tectonic factors.

Key words: East European platform, geodynamic systems, horizontal movement, neotectonic stage, structural accommodation.

Неотектонические движения в пределах Восточно-Европейской платформы (ВЕП), с которыми связаны основные черты ее рельефа, исследуются более столетия. Условно можно выделить два этапа изучения этих движений. Первый этап, начиная с самых ранних исследований, основывался на концепции преобладания вертикальной компоненты подвижности земной коры ВЕП. Проявления горизонтальных движений также изучались, но при этом роль им отводилась менее значительная, чем вертикальным. Однако поскольку тектонические единицы, сокращаясь под тангенциальным давлением и изгибаясь, принуждены подниматься или опускаться (Арган, 1935), следовательно, есть вертикальная составляющая движений, непосредственно вызываемая тангенциальным усилием, исследования на втором этапе стали развиваться с учетом важной роли горизонтальной подвижности земной коры ВЕП.

На первом этапе исследования проводились как для отдельных участков ВЕП (Лукашов, 1976; Никонов, 1977; Раскатов, 1969 и др.), так и для всей ее территории (Мещеряков, 1965; Спиридонов, 1978;

Шатский, 1964 и др.). Был собран богатый материал о рельефе платформы, распространении и характере ее новейших отложений, возрасте и положении поверхностей выравнивания, развитии гидросети и пр. В это же время был выявлен характер основного морфоструктурного строения ВЕП, установлены области новейших поднятий и опусканий в ее пределах, характер унаследованности их развития, связи с фундаментом и т.п.

Одним из основоположников исследований ВЕП был А.П. Карпинский (1894), который на основании палеогеографических реконструкций впервые установил волнообразный тип колебательных движений ВЕП и раскрыл характер этих движений как проявление отклика платформы на активизацию смежных складчатых поясов. Эти идеи, вошедшие в геологическую литературу как «правило Карпинского», получили свое развитие в работах А.Д. Архангельского, В.В. Белоусова, С.Н. Бубнова, Ю.А. Косыгина, В.А. Магницкого, М.М. Тетяева, Н.С. Шатского и др. Исследователями этого периода был внесен большой вклад в понимание характера взаимодействия разновозрастных этапов тектогенеза,

при которых происходит наложение действующих полей деформаций на уже имеющуюся структуру.

Позднее появились работы, посвященные характеристике структур, связанных с тангенциальными (горизонтальными) тектоническими движениями как в фундаменте платформы (возможности проявления которых анализировались также на первом этапе исследований), так и в ее чехле. В этих трудах изучены явления и причины неотектонической активизации структур, которые объясняются авторами (помимо прочих) воздействием на платформу внешних факторов.

Наиболее полно результаты таких исследований (касающиеся как всей ВЕП, так и отдельных ее участков) отражены в работах М.А. Камалетдинова с соавторами (1979), М.Л. Коппа с соавторами (2004, 2014), Ю.А. Лаврушина с соавторами (2012), М.Г. Леонова с соавторами (2013), В.И. Макарова с соавторами (2001, 2006), Н.В. Макаровой с соавторами (2002), В.М. Макеева (2015), Л.А. Сим (1996), А.И. Трегуба (2002), Ф.Н. Юдахина с соавторами (2003) и др. Этими исследователями на большом фактическом материале и с привлечением независимых методов показано, что многие морфоструктуры ВЕП в новейшее время образовывались в результате неотектонической подвижности геологического субстрата, в том числе — со значительной горизонтальной компонентой.

Давно известно, что не существует стран или платформ, которые не были бы сжаты в горизонтальном направлении (Арган, 1935). В последние годы были по-новому оценены и источники структурообразования на ВЕП. Результаты анализа морфоструктурных рисунков позволили подтвердить представление о том, что ВЕП находится под воздействием окружающих ее горно-складчатых сооружений и подвергается либо прямому давлению со стороны этих активных источников (Арган, 1935; Карпинский, 1894; Копп, 2004 и др.), либо воздействию подкоровых потоков (Трифонов, Соколов, 2015; Штауб, 1938; Юдахин и др., 2003; Schulmann et al., 2008 и др.), создающих определенное горизонтальное давление (механизм проявления во всех случаях пока остается дискуссионным).

Таких источников воздействия во внешнем обрамлении платформы принято выделять несколько: Северо-Атлантический сегмент срединно-океанической рифтовой системы, Уральский, Кавказский и Карпатский подвижные пояса. При этом уровень новейшей активности и степень возможного воздействия каждого из источников трактуются разными авторами неодинаково.

Так, по мнению М.Л. Коппа (2004), большое влияние на южную часть ВЕП (вплоть до центральной ее части) оказывает Кавказский подвижный пояс, который, в свою очередь, передает платформе давление Аравийского индентора. Соглашаясь с присутствием такого источника деформаций, другие исследователи значительно сокращают область его влияния (Юдахин и др., 2003). М.Л. Копп (2004;

Копп и др., 2014) также указывает на неотектоническую активность и горизонтальное давление Уральского подвижного пояса на ВЕП, в частности южной его части, на расположенные напротив нее и в ее пределах поднятия.

В работах В.И. Макарова, Ф.Н. Юдахина и соавторов приводятся заключения о влиянии Карпатского горно-складчатого пояса на районы Предкарпатского прогиба и Украинского щита (Макаров и др., 2006; Юдахин и др., 2003 и др.).

Наибольшее согласие исследователей вызывает включение северных и отчасти центральных областей ВЕП в сферу влияния тектонических событий, генерируемых в Северной Атлантике (Копп, 2004; Макаров и др., 2006 и др.). Морфоструктурные результаты такого воздействия подробно показаны в работе (Юдахин и др., 2003). Авторами этой статьи приведена схема, обобщающая и отражающая разнонаправленное, отчасти накладывающееся деформационное воздействие областей влияния всех вышеперечисленных периферийных источников тектонической активности на ВЕП (рис. 1). Несмотря на то что эта схема была создана для разновозрастных (в пределах фанерозоя) воздействий, ее с учетом появляющихся данных о неотектонической активизации последних можно успешно применить и для неотектонического этапа.

Можно констатировать, что становится общепринятым совместно, в едином парагенетическом аспекте рассматривать как области генерирования тектонических напряжений, передаваемых на платформы, так и области реализации этих напряжений на платформах. Такие участки земной коры удачно названы «геодинамическими системами» (Макаров и др., 2006; Юдахин и др., 2003), или, далее, сокращенно — «геосистемами». С введением этого понятия появился, по сути, новый метод тектонического анализа, основанный на расшифровке истории тектонического развития морфоструктур в условиях наложения взаимодействующих напряжений, идущих из разных генерирующих источников, и аккомодации к этим напряжениям внутривнутриплатформенных морфоструктур. Этот метод берет свое начало в исследованиях начального этапа развития неотектоники, когда анализировалось наложение разновозрастных деформаций на геологическую среду, структурированную в предыдущие тектонические эпохи (Мещеряков, 1965; Спиридонов, 1978 и др.).

В обобщающих работах (Копп, 2004; Макаров и др., 2006; Юдахин и др., 2003) приведены примеры взаимодействия новейших геосистем ВЕП. Например, развитие неотектонически обусловленных Окско-Донского прогиба, Приволжской возвышенности, различных морфоструктур в районе Поволжья рассматривается как суперпозиция воздействий Кавказского сегмента Альпийского горно-складчатого пояса и глубинных процессов, происходящих под Прикаспийской депрессией (Макаров и др., 2006; Макарова и др., 2002; Юдахин и др., 2003 и др.),

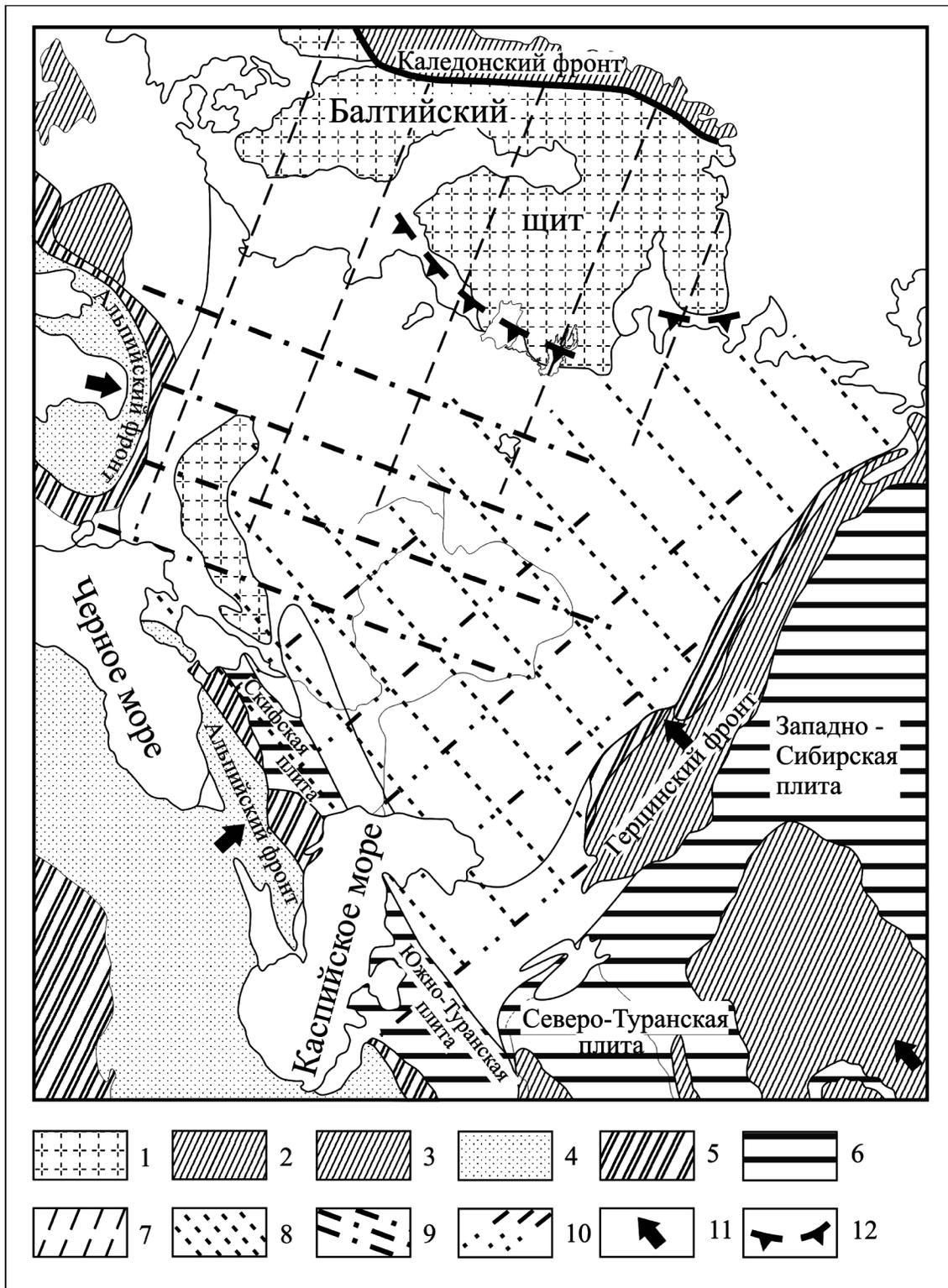


Рис. 1. Динамическое влияние орогенов и деформации сжатия форланда (по Юдахин и др., 2003, с изменениями): 1 — области докембрической складчатости и выходы ее на дневную поверхность (Балтийский и Украинский щиты); 2–4 — области складчатости: 2 — каледонской, 3 — герцинской, 4 — альпийской; 5 — предгорные прогибы; 6 — области Западно-Сибирской, Скифской, Северо- и Южно-Туранской плит; 7 — область каледонских синорогенных движений и деформаций; 8 — область динамического влияния герцинского орогена (Урал); 9 — область динамического влияния альпийских орогенов: 9 — Карпатского; 10 — Кавказского; 11 — преобладающие направления фронта тангенциальных усилий и деформаций; 12 — положение большой радиальной флексуры (по Полканов, 1956, с изменениями)

т.е. в самой платформе. Формирование Смоленско-Дмитровско-Ветлужской зоны рассматривается как результат совместного воздействия Скандинавской и Альпийской геосистем. В последнее время боль-

шое внимание изучению явлений совместного воздействия (суперпозиции) геосистем уделяется в работах В.М. Макеева (2015), который обобщил значительный материал из разных районов Рос-

сии, а также А.А. Никонова с коллегами, которые рассматривают суперпозицию геосистем ВЕП с точки зрения генерирования сейсмических проявлений (Никонов и др., 2015).

Таким образом, исследования особенностей тектонического развития платформенных и иных территорий с позиций взаимодействия геодинамических систем становятся самостоятельным перспективным направлением. Однако тема эта до сих пор остается недостаточно раскрытой как с методической, так и с фактологической точки зрения и, следовательно, предоставляет большое поле для разработок, являющихся актуальными для более глубокого понимания характера тектонических процессов, происходящих в земной коре и отражающихся в рельефе ее поверхности.

Учитывая вышеизложенное, подчеркнем, что основная цель данного исследования — освещение проблем проявления взаимодействия нескольких субсинхронно действующих геосистем, активизированных в новейшее время, и их взаимной аккомодационной реализации в морфоструктурах фундамента и чехла. Попробуем проанализировать некоторые уже хорошо изученные крупные морфоструктуры ВЕП с позиции их появления вследствие взаимодействия разных геосистем и расширить существующие представления об особенностях их формирования.

Особенностью методики исследований является сопоставление в плане морфоструктур, расположенных на обрамлении ВЕП в областях, генерирующих тектоническое напряжение, с пространственным распределением морфоструктур платформы. Сопоставление основывается как на экспериментальных данных о возникновении перед фронтальными частями инденторов (в самом общем виде) зон сжатия в геологическом субстрате (Davу, Cobbold, 1988; Regard et al., 2005 и др.), так и на существующих механизмах опосредованного давления (Burek, 1981), либо «волочения» литосферных слоев нисходящими течениями вещества астеносферы со стороны активного пояса под платформу (Трифонов, Соколов, 2015; Штауб, 1938; Юдахин и др., 2003; Schulmann et al., 2008 и др.).

В работе применяется принцип генерализации контуров морфоструктур в плане, что позволяет выделить тектоногенную составляющую морфоструктуры, а также принцип разумного утрирования морфоструктурных особенностей, которые необходимо вычленивать из общего структурного рисунка.

Примеры анализа проявлений взаимодействия нескольких геодинамических систем

Рассмотрим возможность появления единой результирующей морфоструктуры как реакции на взаимодействие нескольких геосистем.

Рельеф ВЕП в самом приблизительном виде можно представить как чередование нескольких участков (или поясов) с преобладанием относительно

возвышенного и низменного рельефа. К первому типу можно отнести районы Балтийского щита и юго-восточной части ВЕП на Украине, в Приднестровье, в Поволжье (вплоть до Урала), к относительно более низменным — пространство средней части Русской равнины и район Прикаспийской низменности.

Основными возвышенностями, расположенными в западных и восточных районах ВЕП, с определенной генерализацией с юго-запада на северо-восток являются следующие: для района Карпатских гор — Вольно-Подольская и Приднепровская, далее к северо-востоку — Среднерусская, Приволжская, а в районе Уральских гор — крупная структура, объединяющая возвышенности Бугульмино-Белебеевскую и Общего Сырта (Мещеряков, 1965). Эти возвышенности обладают многими общими сходными чертами строения. Все они имеют удлиненную форму, причем длинные оси их ориентированы на юго-западе в северо-западном, а на северо-востоке — в субмеридиональном направлении. Размеры их в плане составляют примерно 400–600 км по длинной оси и 200–400 км — по короткой. Высоты вершинных поверхностей изменяются в пределах 200–350 м. На возвышенностях располагаются многочисленные кайнозойские поверхности выравнивания (Карта поверхностей..., 1971), наклонное залегание которых на склонах и деформации (в частности — палеогеновой и предновейшей поверхностей), а также распределение новейших отложений показывают, что эти возвышенности (с небольшой разницей во времени) образовались как поднятия и затем активно воздымались на неотектоническом этапе (Копп, 2004; Макаров и др., 2006; Мещеряков, 1965; Спиридонов, 1978 и др.).

Информация о расположении этих поднятий в плане отражена на картах новейшей тектоники разных лет, однако самая удачная трактовка, на наш взгляд, показана в работе (Схема новейших..., 1986). На этой схеме проведена значительная генерализация и отсечены поднятые участки рельефа, связанные с денудационной препарировкой субстрата, что способствовало выделению тектоногенной составляющей. В результате на юге и востоке ВЕП отчетливо выделяется пояс неотектонических поднятий, пересекающий ВЕП поперек, с юго-запада на восток—северо-восток (рис. 2, а). Размеры его в целом составляют примерно 2200×600 км. Пояс незначительно выгнут к северу—северо-западу. Его юго-западный край «упирается» во фронтальную часть Карпатской горно-складчатой системы, а северо-восточный примыкает к южной части Уральского орогена.

Необходимо отметить, что кроме сходных общих особенностей все поднятия обладают собственными важными чертами строения, связанными с их структурой. Так, Вольно-Подольское и Приднепровское расположены над Предкарпатским прогибом и Украинским щитом и связаны с их воздыманием. Среднерусское поднятие включает в своей южной части Воронежский выступ фундамента и образо-

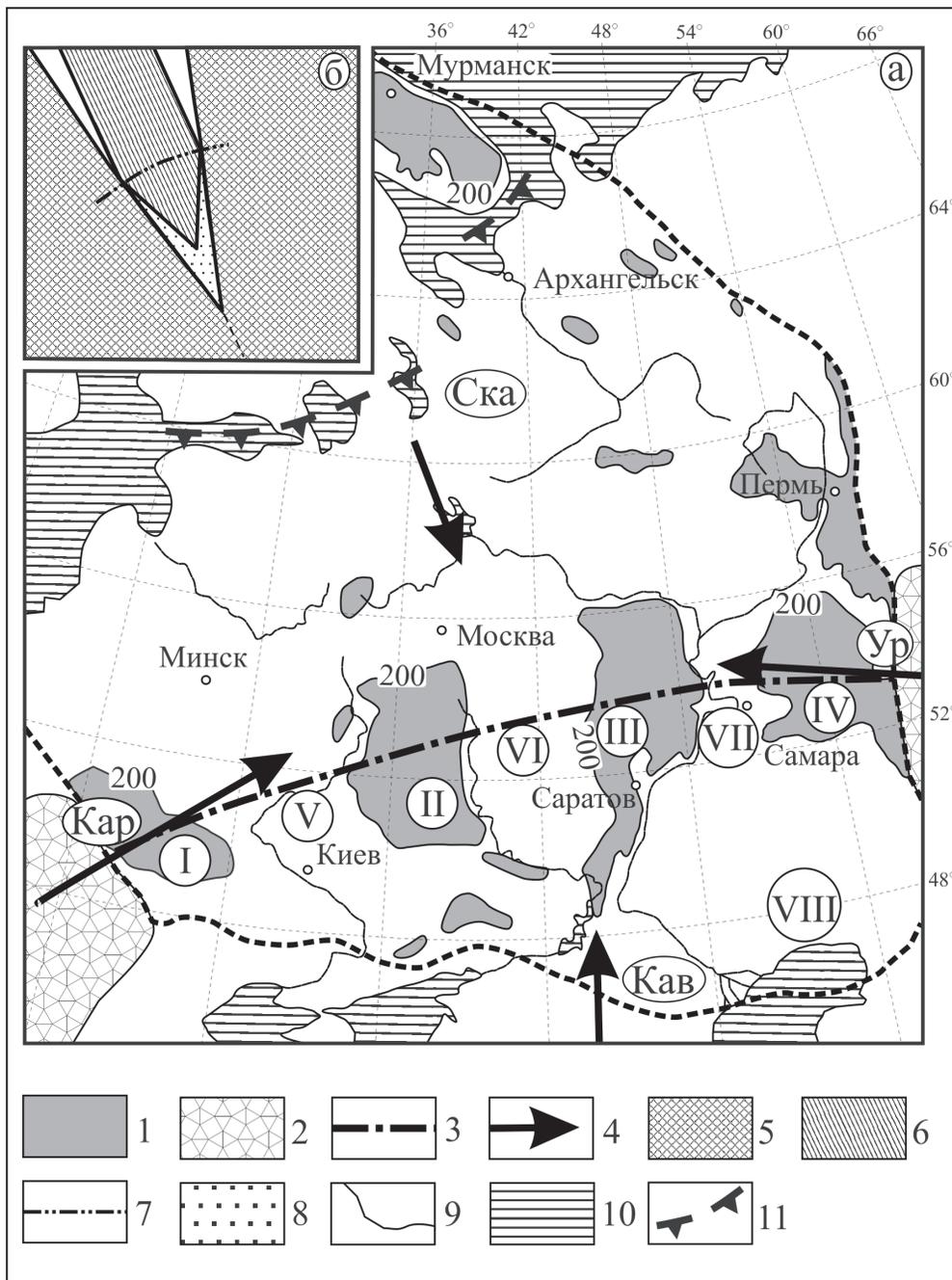


Рис. 2. Возникновение обобщенной морфоструктуры при взаимодействии геодинамических систем: а — пояс поднятий, пересекающий ВЕП, как суммарное отражение воздействия нескольких геодинамических систем; б — модель внедрения клина в субстрат с возникновением пояса сжатия. 1 — неотектонические поднятия по изолинии 200 м (по Схема новейших..., 1986, с упрощениями); 2 — изолинии новейших поднятий; 3 — ось пояса поднятий; 4 — видимое направление воздействия геодинамических систем; 5–7 — модель расклинивания: 5 — расклиниваемый субстрат, 6 — клин, 7 — положение оси сжатия в клине; 8 — водоемы; 9 — реки; 10 — геодинамические системы: Ска — Скандинавская, Кар — Карпатская, Кав — Кавказская, Ур — Уральская; возвышенности, соответствующие новейшим поднятиям: I — Волыно-Подольская и Преднепровская, II — Среднерусская, III — Приволжская, IV — Бугульмино-Белебеевская и Общего Сырта; низменности, соответствующие новейшим депрессиям: V — Днепровско-Донецкая, VI — Окско-Донская, VII — Приволжская, VIII — Прикаспийская; ВЕП — Восточно-Европейская платформа; 11 — положение большой радиальной флексуры (по Полканов, 1956, с изменениями)

вано во многом за счет его дифференцированного роста. Приволжское поднятие расположено не над выступом фундамента, а, наоборот, над его погруженной частью и, следовательно, является инверсионным по отношению к мезозойским структурам. Возвышенности Бугульмино-Белебеевская и Общего Сырта при генерализации оконтуриваются общим поднятием и расположены в целом над поло-

жительными структурами чехла и фундамента, образующими более сложный рисунок, чем в предыдущих случаях (Копп, 2004; Макаров и др., 2006; Мещеряков, 1965 и др.).

Пояс возвышенностей разделяется примерно на равных расстояниях тремя основными вытянутыми понижениями рельефа, придающими всей морфоструктуре характер цепи. С юго-запада на се-

веро-восток это Днепровско-Донецкая, Окско-Донская и Приволжская низменности. Они ориентированы в направлениях от северо-западного до субмеридионального, поперек общего изменяющегося простирания пояса. Их длины составляют около 400–600 км при ширине от первых десятков до первых сотен километров (Окско-Донская низменность). Все они в своем происхождении имеют неотектоническую составляющую, т.е. являются депрессиями, на что указывает, в частности, понижение в их пределах кайнозойских поверхностей выравнивания (Мещеряков, 1965).

Как было отмечено выше, пояс поднятий своими краевыми частями «упирается» в Карпатский и Уральский орогены. Рассмотрим их подробнее.

Карпатский ороген является частью большой Альпийской горно-складчатой системы, выражен в рельефе горной цепью, активно воздымается на неотектоническом этапе (на что указывают углубление русел рек, обрывистые склоны в нижней части долин, деформации продольного профиля террас (Геология СССР, 1966; Раскатов, 1957 и др.)) и на отдельных участках надвинут на край ВЕП. В работе (Макаров и др., 2006) показано, что Карпатский ороген оказывает значительное горизонтальное влияние на неотектоническое поднятие в районах Предкарпатского прогиба и Украинского щита, Воронежского и Токмовского сводов. Об этом свидетельствуют: а) общее нарастание высот поднятий в сторону Карпат; б) включение Предкарпатского прогиба в новейшее поднятие; в) образование в начале новейшего этапа шарьяжей, по которым субстрат орогена двигался в сторону ВЕП (Копп, 2004); г) ориентировка направлений главных осей тензора деформации для Карпато-Балканского региона, рассчитанных при решении очагов землетрясений (Друмя и др., 1987; Мострюков, Петров, 1994 и др.).

Южная часть Уральского орогена испытывает поднятие в новейшее время (Геология СССР, 1964; Копп, 2004; Копп и др., 2014). На активное воздымание орогена в области сочленения с рассматриваемым поясом указывает расположение здесь наиболее высоких возвышенностей, достигающих 1632 м (г. Яман-Тау), максимальное расширение области обнаженных структур Урала, а также вытянутая вдоль всей горной системы и ярко выраженная в рельефе депрессия, расположенная над краевым прогибом ВЕП. Развивающийся перед фронтом Южного Урала прогиб, по сути, является преднадвиговым, учитывая характер глубинного строения западного борта структуры Урала (Verzin et al., 1996). Наличие морфоструктурной пары прогиб–поднятие свидетельствует об активности надвигов и давлении со стороны Урала в западном направлении, т.е. на край платформы. Это избирательное относительно всего орогена движение южной его части имеет вполне приемлемое обоснование. Как отмечал М.Л. Копп (2004), напротив тыловой части Южно-Уральского сегмента Ураль-

ского подвижного пояса в Казахстане расположен Кокчетавский массив, выраженный новейшим поднятием рельефа. При этом движение массива и «подпираание» Южного Урала вполне возможно вследствие горизонтального давления, передающегося от Гималайского коллизийного пояса.

М.Л. Копп при детальном изучении расположенных между Волгой и Уралом неотектонических поднятий (в частности, Общего Сырта) также пришел к выводу о значительном горизонтальном влиянии на их рост Южно-Уральского сегмента подвижного пояса, активно развивающегося в новейшее время (Копп, 2004; Копп и др., 2014).

Таким образом, оба торцевых замыкания пояса поднятий оказываются в зоне влияния орогенов, к которым примыкают. Эти орогены, в свою очередь, представляют собой активные фрагменты геосистем, влияние которых распространяется на этот пояс поднятий. Для оценки характера их взаимодействия и вклада участвующих геосистем проанализируем общую форму пояса и предполагаемые направления влияния орогенов. Рассматривая расположение и форму фронтальных частей орогенов, обращенных к платформе, можно заметить, что это влияние, по-видимому, не простирается строго по прямой между ними. Влияние Карпат направлено в северо-восточном, а влияние Южного Урала — в западном–северо-западном направлении (рис. 2, а).

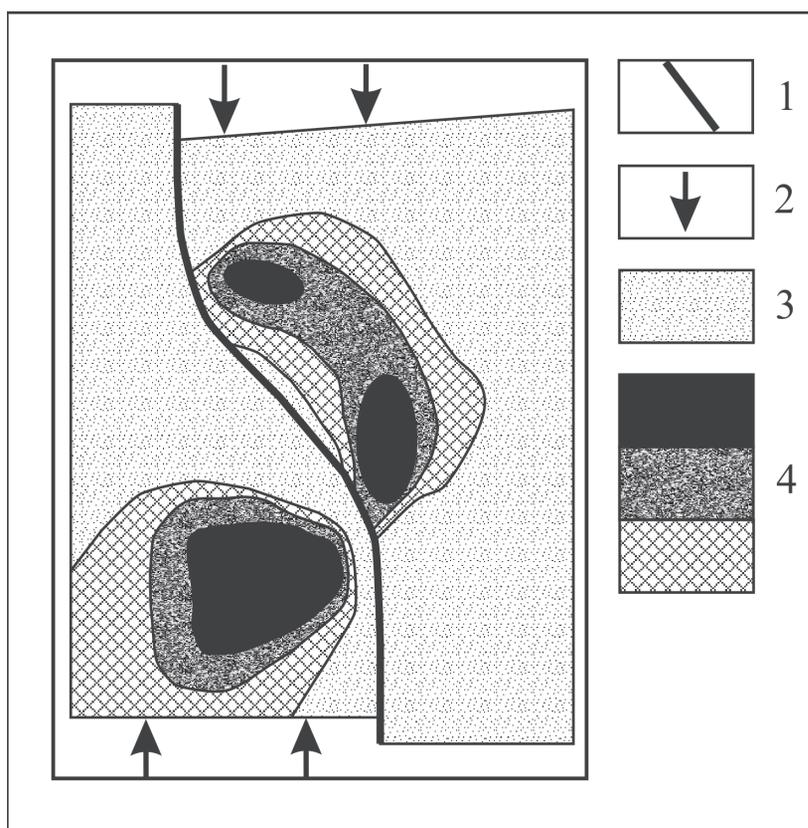
При раздельном воздействии на платформу разновозрастных полей напряжений со стороны смежных подвижных поясов, в соответствии с правилом Карпинского, их влияние распространялось бы с постепенным ослаблением амплитуды поднятий и опусканий при удалении от этих поясов (Bugek, 1981). При этом результирующие поднятия выстроились бы субпараллельно подвижным поясам согласно главным осям напряжений, чего в нашем случае не наблюдается (рис. 2, а). Следовательно, именно одновременное воздействие полей напряжений противоположащих геосистем на платформу привело к образованию единой морфоструктуры — общего, отчасти выпуклого к северу пояса поднятий.

Таким образом, морфоструктурное выражение субсинхронного взаимодействия противоположащих геосистем заключается в образовании аккомодационного обобщенного пояса возвышенностей, расположенных по оси воздействия орогенов на платформу, т.е. своеобразного «мостика» по оси поперечного для ВЕП сжатия, изогнутого вследствие отклонения осей взаимодействия геосистем от встречного направления.

Возникновение подобных «мостиков сжатия» между двумя разнонаправленными источниками давления иллюстрируется моделированием (рис. 3) на оптически активных материалах (Королев, Фатхуллаев, 1976).

Вследствие непосредственного контакта окончаний пояса поднятий и новейших орогенов влияние этих двух геосистем можно считать определяющим,

Рис. 3. Образование обобщенного пояса повышенных напряжений в массиве при дистанционном взаимодействии двух источников напряжений по результатам эксперимента (по Королев, Фатхуллаев, 1976, с упрощениями): 1 — разрыв в деформируемом субстрате; 2 — направление давления на субстрат; 3 — субстрат модели; 4 — области различного напряженного состояния, возникшие в субстрате при деформации; черным маркируется наиболее напряженная область



однако следует привести признаки присутствия и других, дополнительных воздействий.

М.Л. Копп для ранних этапов кайнозойского времени установил вероятные признаки общего движения ВЕП в южном направлении под воздействием раскрывающейся Северной Атлантики (Копп, 2004). Он же фактически указал на признаки вероятного новейшего продолжения этой тенденции, например, кулисное подстраивание возвышенностей Тимана на обрамлении платформы и т.п. Соглашаясь с этими построениями, ВЕП можно представить как «индентор-клин», вдвигающийся в окружающую раму. Естественно, что в местах расширения «клина» перед последующим его сужением к носовой части (особенно когда они совпадают с «зацепами» в стенках рамы) должен возникнуть своеобразный «мостик сжатия», пересекающий «клин» (рис. 2, б). Для ВЕП этот «мостик» между орогенами на ее флангах полностью совпадает с расположением пояса поднятий. Из этого можно заключить, что Скандинавская геосистема также участвует в образовании трансплатформенного пояса, воздействуя на «клин» в юго-восточном направлении, что подтверждает воззрения М.Л. Коппа (2004).

Рассматриваемая модель учитывает также вклад этого тангенциального воздействия в общее опускание (в результате глубинных причин) Прикаспийской впадины (Волож и др., 2004 и др.), поскольку перед «мостиком сжатия» обязательно образуется область растяжения, на поверхности выражающаяся прогибанием (рис. 2, б).

Как отмечалось ранее, было бы логично ожидать, что высота возвышенностей, образовавшихся в зонах индентации, должна убывать в сторону от источника воздействия. Однако в нашем случае не наблюдается никакого заметного снижения высот к центральной части пояса. Мало того, именно там расположена Приволжская возвышенность, в основании которой нет «ядра» из выступа фундамента, как это имеет место в соседней, Средне-Русской возвышенности, что объясняется ее образованием в результате инверсии существовавшего на ее месте прогиба (Мешеряков, 1965; Спиридонов, 1978 и др.).

Для объяснения этих фактов необходимо предположить участие в создаваемой модели дополнительного фактора давления. Как показано выше, породы, слагающие возвышенность, подвергались воздействию со стороны Южно-Уральского сегмента подвижного пояса и Карпатского орогена. Многими исследователями отмечается и еще один источник вероятного давления — Кавказский ороген, передающий, в свою очередь, воздействие Аравийского индентора (Копп, 2004; Макаров и др., 2006; Юдахин и др., 2003 и др.).

Таким образом, учитывая факты влияния на ВЕП Скандинавской и Кавказской геосистем, можно констатировать, что геологический субстрат средней части пояса поднятий подвергнулся разностороннему давлению. Это могло привести как к дополнительному поднятию в этом районе, так и к относительному уплотнению пород, появлению у них значительной денудационной устойчивости, приведшей к сохранению рельефа, возникшего при общем воздымании пояса. Сведения об общем поднятии, которое сопровождалось усилением эрозии, разделяющей территорию на отдельные возвышенности, приведены Ю.М. Мешеряковым (1965). Также можно добавить, что модель возникновения пояса в условиях сжатия хорошо объясняет формирование вытянутых депрессий-синформ (Макаров и др., 2006).

Нельзя не упомянуть, что описанная выше морфоструктура субширотного трансплатформенного пояса, характеризующаяся чередованием вытянутых впадин и поднятий, по морфоструктуре,

масштабам и геодинамической значимости сходна с современной морфоструктурой другого протяженного пояса ВЕП — флексуры А.А. Полканова (1956), имеющей длительную историю развития. Анализ палеогеографических обстановок ВЕП показывает, что тектоническая активизация пояса флексуры Полканова на плитном этапе развития ВЕП охватывала поздний докембрий, палеозой, фрагментарно — мезозой и поздний плейстоцен. Балтийский щит (БЩ) в эти эпохи представлял собой приподнятую область сноса, о чем свидетельствуют сокращенные мощности и насыщение терригенным материалом разрезов с реконструируемыми континентальными, озерно-аллювиальными и мелководно-морскими обстановками седиментации в областях осадконакопления, прилегающих к БЩ. Прогибание в пределах пояса флексуры Полканова происходило дискретно, о чем свидетельствуют многочисленные внутри- и межформационные перерывы в осадконакоплении, при этом в погружение вовлекались различные части пояса флексуры: юго-западные, южные и восточные. Эти факты свидетельствуют, что в пределах пояса флексуры Полканова происходит длительная тектоническая аккомодация между крупнейшим выступом фундамента и Русской плитой ВЕП. Механизм формирования системы возвышенностей и понижений, окружающих по дуге БЩ (рис. 1, 2) с юга, трактуется разными авторами как результат: а) процессов изостазии, протекающих в глубинных частях ВЕП (Николаев, 1988; Mörner, 1979 и др.); б) давления со стороны Скандинавской геосистемы (Шукин, 1996; Müller et al., 1992 и др.); в) взаимодействия этих процессов (Юдахин и др., 2003).

При рассмотрении результатов взаимодействия геосистем появляется возможность, опираясь на логические построения, реконструировать морфоструктурно-кинематический вклад каждой системы. Безусловно, подобные реконструкции носят вероятностный и субъективный характер, однако в какой-то мере отражают природную действительность и могут найти применение при восстановлении источников деформаций.

Балтийский щит расположен в северо-западной части ВЕП и представляет собой область выхода на поверхность фундамента платформы, который сложен, главным образом, метаморфизованными архейскими и протерозойскими породами, нарушенными разрывами разных типов (Кратц и др., 1978; Леонов и др., 2011 и др.), при этом его длинная ось ориентирована в северо-восточном направлении. В мезозойско-кайнозойское время щит развивался, главным образом, как область незначительного поднятия и преимущественной денудации, и, согласно существующим реконструкциям (Сорохтин, Ушаков, 2002; Scotese, 2001 и др.), до начала раскрытия Северной Атлантики в позднем мелу — палеогене примыкал к северо-восточной части Северо-Американской платформы. В новейшее время БЩ продолжал оставаться областью

платформенного поднятия (Лукашов, 1976; Никонов, 1977 и др.).

В четвертичное время БЩ стал центром покровного оледенения. Последний из уходящих ледников оставил после своего отступления спектр позднечетвертичных террас, поднятых на значительную высоту. Анализ распространения их высот позволил установить, что БЩ интенсивно воздымался, причем максимальные амплитуды поднятия, рассчитанные для его центральной части (район северо-восточной части Ботнического залива), составляют, по разным оценкам, от 300 до 800 м (Николаев, 1967; Mörner, 2003 и др.). Анализ распространения террас в плане отражает картину изолиний гляциоизостатического поднятия (Николаев, 1967; Mörner, 2003 и др.). Известно, что под воздействием ледника щит опускался, а после стаивания ледового покрова происходило его компенсационное поднятие. Наиболее вероятным механизмом, обеспечивающим такие значительные и достаточно быстрые колебания земной коры, являлось перераспределение подкорового вещества, вызванного снятием ледовой нагрузки (Магницкий, 1968; Штауб, 1938; Юдахин и др., 2003).

По мнению многих исследователей, последствия изостатического выравнивания сравнительно быстро, в течение нескольких тысяч лет, сошли на нет и в настоящее время главной причиной активности щита вновь являются собственно тектонические движения (Николаев, 1967; Никонов, 1977; Mörner, 2003 и др.). Учитывая современные взгляды, можно предположить, что они связаны с раскрытием Атлантики (Копп, 2004; Юдахин и др., 2003 и др.).

Таким образом, в новейшее время район щита подвергался воздействию двух основных геосистем: тектонической, связанной с развитием Северной Атлантики, и гляциоизостатической, связанной с ледниковой «прокачкой» щита. Воздействие этих систем было либо одновременным, либо дискретным разновременным с преобладанием одной из геосистем. Можно констатировать, что современная морфоструктура щита образовалась в результате их взаимодействия, при участии факторов денудации и исходных неоднородностей субстрата.

Известны разные подходы к созданию схем, в изолиниях отражающих амплитуды послеледниковой гляциоизостатического поднятия БЩ. Так, Н.И. Николаев учитывал при рисовке изолиний различные осложнения, например, окраинные впадины (Николаев, 1967). Н.-А. Мёрнер, наоборот, приближал свои схемы к первичным, создаваемым еще Де-Геером (De-Geer, 1912), и максимально сглаживал изолинии, убирая неоднородности и приближаясь этим к некоей идеальной генерализованной форме (Mörner, 2003). В этой интерпретации поднятие имеет форму эллипса, длинная ось которого вытянута в северо-восточном направлении, при этом Ботнический залив в гляциоизостатической модели рассматривается как грабен, возникший при растяжении поверхности верхней

части щита во время его поднятия. Однако существуют и иные представления.

Например, в работе (Юдахин и др., 2003) был сделан акцент на преобладание влияния на рельефообразование собственно тектонических движений. В этом случае морфоструктура является результатом не растяжения, а сжатия, идущего от Срединно-Атлантического хребта. Депрессия Ботнического залива в этом случае является прогибом, разделяющим расположенные юго-восточнее и северо-западнее поднятия, вытянутые в общем северо-восточном направлении, перпендикулярно давлению, идущему от Атлантики.

Авторами статьи предпринята попытка реконструировать характер влияния основных геосистем на морфоструктуру БЩ на основе ее современной рисовки в соответствии с генерализованными изолиниями поднятия в трактовке Н.-А. Мёрнера (Mörner, 2003). Для этих целей проведено графическое выделение морфоструктурных особенностей, отвечающих влиянию каждой из систем (рис. 4, а). К подобным реконструкциям можно подойти с разных позиций, учитывая различные тонкости реконструкции процесса деформации. Однако для получения общей наглядной картины авторы воспользовались методом компьютерной площадной графической трансформации.

На рис. 4, б показан результат такой трансформации, при котором с конечной картины деформации (в генерализации — эллипс поднятия) было снято тектоническое воздействие со стороны Атлантики (в нашем понимании — деформирующее эллипс), для чего он был восстановлен до круга, т.е. до предполагаемой формы идеального гляциоизостатического поднятия. При этом боковые (юго-западная и северо-восточная) границы расширены не были и остались в пределах реальной рамы платформы. Наиболее сжатый северо-западный край эллипса расширился по радиусу несколько менее чем в два раза. В результате на схеме нашло свое отражение реконструируемое расширение морфоструктуры щита по оси, имеющей северо-западное простирание (анализ детальных особенностей оставил пока за пределами рассмотрения).

Очевидно, получившаяся картина в самых общих чертах отражает форму морфоструктуры в плане, которая получилась бы при «чистом» воздействии гляциоизостатического поднятия на рельеф (изолинии поднятия, показанные на рис. 4, б, приведены без значений и носят условный характер).

Далее нами была предпринята попытка рассмотреть морфоструктуру поднятия при потенциальном воздействии только тектонического фактора (рис. 4, в), а именно давления, идущего со стороны раскрывающейся Атлантики. Получившийся рисунок является результатом трансформации, при которой эллипсоидное поднятие сплющивается по короткой оси, с сохранением размеров по длинной оси (отвечающей ширине платформы). На результирующей схеме, которая согласуется с взглядами Ф.Н. Юдахина с коллегами (2003), выделены

поперечные сжатию выступы и прогибы кристаллического основания. Изолинии величин поднятия и опускания показаны без конкретных значений, при этом дополнительно нанесены реально существующие системы радиальных разрывов и нарушений, ограничивающие щит на флангах. У последних выделены придвиговые депрессии, характер которых подтверждает движение ВЕП относительно своей рамы в юго-восточном направлении.

Безусловно, авторы не постулируют, что кристаллический субстрат в реальных условиях имел возможность деформироваться настолько интенсивно, насколько это следует из компьютерных реконструкций, а вот результирующая морфоструктура, весьма вероятно, могла бы иметь форму, приближенную к реконструированной.

С учетом вышеизложенного суперпозиционную интерпретацию получает и современная аккомодационная морфоструктура пояса окраинных поднятий и депрессий флексуры Полканова (1956). Эта морфоструктура является результатом взаимодействия двух факторов — гляциоизостатического (отвечающего за формирование изометричного свода БЩ и компенсационной окраинной депрессии) и тектонического (отвечающего за направленную деформацию свода), что подтверждает представление Ф.Н. Юдахина с коллегами (2003).

Необходимо сделать несколько замечаний относительно наблюдающейся асимметрии существующего в настоящее время поднятия. Его северо-западный край является более прямолинейным и крутым, а юго-восточный — более пологим и дуговидно выгнутым в сторону плитной части ВЕП (рис. 4, г). Можно согласиться с доводами, изложенными в (Юдахин и др., 2003), о том, что такая асимметрия может быть связана с большим воздействием со стороны Атлантики. Также можно добавить, что, по-видимому, на асимметричную форму эллипса поднятия влияет и исходная неоднородность. Вероятно, это след уже отмершей геодинамической системы — общего поднятия БЩ и северо-восточной части Северо-Американской платформы, существовавшего до начала раскрытия Северной Атлантики.

Выводы

Исследование неотектонических движений с точки зрения существования взаимодействия различных геодинамических систем на ВЕП является достаточно новым и перспективным направлением, основы которого заложены работами М.Л. Коппа, В.Н. Макарова, Н.В. Макаровой, В.М. Макеева, А.А. Никонова, Ю.К. Шукина и др.

Несмотря на то что подход к расшифровке тектоники, основанный на понимании морфоструктурных деформаций для отдельных участков ВЕП как следствия взаимодействия геосистем, уже реализуется, это направление имеет большой простор для методического развития, формулировки задач

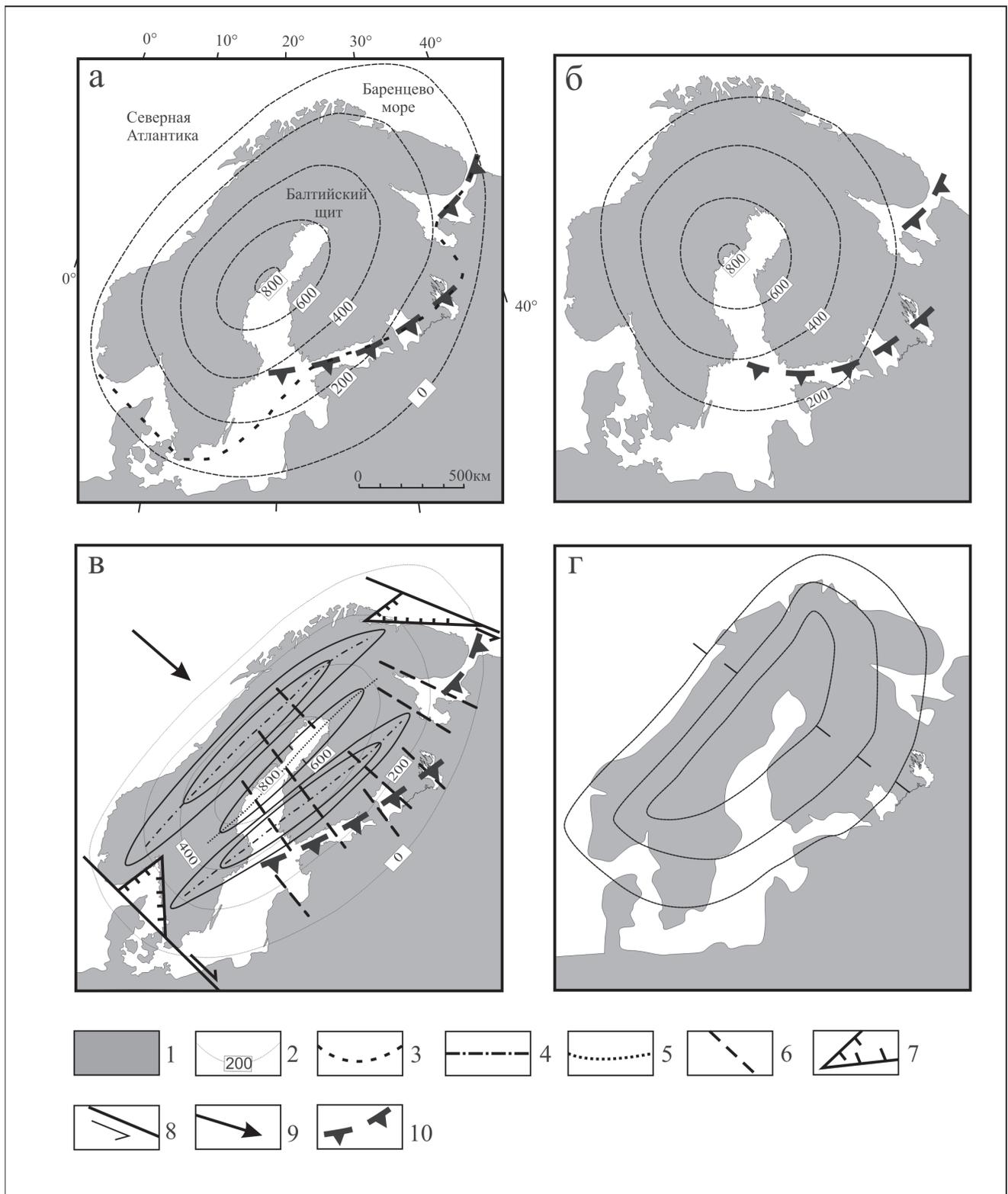


Рис. 4. Реконструкции вероятных морфоструктур, которые должны возникнуть от раздельного воздействия изостатической и тектонической геодинамических систем в районе Балтийского щита: а — современная морфоструктура Балтийского щита и генерализованные контуры его послеледникового поднятия (по Mörner, 2003, с упрощениями); предположительная реконструкция поднятия щита и его контуров в случае воздействия: б — изостатических движений; в — тектонических, связанных с раскрытием Северной Атлантики; г — реликтовая форма, оставшаяся от более крупного щита, существовавшего до начала раскрытия Северной Атлантики. 1 — области суши (Балтийский щит и прилегающие фрагменты платформ); 2 — изолинии поднятий; 3 — ориентировочная современная граница щита; 4 — оси поднятий; 5 — оси прогибов; 6 — основная система разрывов; 7 — вероятные присдвиговые грабены; 8 — сдвиги на флангах щита; 9 — направление воздействия тектонических процессов, проявленных в Северо-Атлантическом хребте; 10 — положение большой радиальной флексуры (по Полканов, 1956, с изменениями)

и проведения исследований. В частности, значительный интерес представляют задачи уточнения на новых примерах формы и механизмов реализации взаимодействия напряжений в последующих деформациях. Как происходит их совместная релаксация? Каковы ее механизмы? Как выглядит результат (в частности, морфоструктурный)? Представляет интерес и возможность реконструкции деформаций от разных источников, определивших общую результирующую деформацию и многое другое.

В первой части статьи предпринята попытка рассмотреть один из вероятных путей реализации взаимодействий геосистем — формирования суммарной результирующей морфоструктуры и оценить вклад в этот процесс каждой из этих систем. В нашем случае это образование трансплатформенного аккомодационного пояса новейших поднятий, пересекающего ВЕП с юго-запада на северо-восток, от Карпатского орогена к Южно-Уральскому сегменту Уральского орогена. Согласно полученному материалу, эти (фланговые для ВЕП) геосистемы создают основной вклад в результирующую деформацию, а Кавказская и Скандинавская играют дополнительную роль.

Второй пример также касается выделения в морфоструктуре ВЕП признаков воздействия разных

геосистем. Авторы статьи для района БЩ провели кинематические реконструкции вероятной морфоструктуры, которая могла бы получиться в результате «чистого» воздействия этих систем, и графически проиллюстрировали вклад каждой из них. В случае проявления только гляциоизостатического фактора форма щита была бы более изометричной, окруженной компенсационными впадинами. В то же время при проявлении одного только тектонического воздействия со стороны Атлантики морфоструктура БЩ скорее всего была бы представлена линейными поднятиями и опусканиями, параллельными фронту воздействия. Таким образом, современная морфоструктура БЩ является результатом взаимодействия разных геодинамических систем, проявившихся в течение неотектонического этапа. В форме щита, возможно, также прослеживается его происхождение от более крупной древней структуры земной коры.

Также прямыми следствиями таких взаимодействий на новейшем этапе являются современные аккомодационные морфоструктуры поясов поднятий и впадин центральной части ВЕП и флексуры Полканова.

Работа выполнена в рамках темы Госзадания № 01201459182, при финансовой поддержке РФФИ (проект 14-0500149 программы ОНЗ РАН № 10).

ЛИТЕРАТУРА

- Арган Э.* Тектоника Азии. М.: ОНТИ, 1935. 192 с.
- Волож Ю.А., Антипов М.П., Гарагаиш И.А., Лобковский Л.И.* Эклогитовая модель формирования Прикаспийской впадины // Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция / Отв. ред. Ю.Г. Леонов, Ю.А. Волож. М.: Научный мир, 2004. С. 471–486.
- Геология СССР. Т. 13. Башкирская АССР и Оренбургская область. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1964. 655 с.
- Геология СССР. Т. 48. Карпаты. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1966. 530 с.
- Друмя А.В., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А.* Сейсмическое течение Карпато-Балканского региона // Современные движения земной коры. Морфоструктуры, разломы, сейсмичность. М.: Наука, 1987. С. 17–23.
- Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т.* Происхождение нефтегазоносных платформенных структур. Уфа: Ин-т геол. Башкир. фил. АН СССР, 1979. 64 с.
- Карпинский А.П.* Общий характер колебаний земной коры в пределах Европейской России // Изв. Импер. АН. 1894. Т. 1, вып. 1. С. 1–19.
- Карта поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР. Л., 1971.
- Копп М.Л.* Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2004. 340 с.
- Копп М.Л., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А.* и др. Новейшее поле напряжений востока Русской плиты и Урала по макро- и мезоструктурным данным // Геотектоника. 2014. № 4. С. 23–43.
- Королев В.А., Фатхуллаев Ш.Д.* Общие вопросы моделирования структур рудных полей и месторождений // Эксперимент и моделирование в структурообразующих процессах рудогенеза. Новосибирск: Наука, 1976. С. 9–22.
- Кратц К.О., Глебовицкий В.А., Былинский Р.В.* Земная кора восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1978. 96 с.
- Лаврушин Ю.А., Чистякова И.А., Кураленко Н.П.* и др. Дивногорское гляциотектоническое сооружение: строение, деформации ледникового ложа и предпосылки для последующего рельефообразования // Бюл. Ком. по изуч. четвертич. периода. № 72. М.: ГЕОС, 2012. С. 5–28.
- Леонов М.Г., Куликов В.С., Зыков Д.С.* и др. Тектоника // Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Л.В. Глушанин, Н.В. Шаров, В.В. Шипцов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. С. 127–171.
- Леонов М.Г., Копп М.Л., Колодяжный С.Ю.* и др. Латеральные тектонические потоки в литосфере Земли // Тр. Геол. ин-та РАН. Вып. 604. М.: ГЕОС, 2013. 318 с.
- Лукашов А.Д.* Новейшая тектоника Карелии. Л.: Наука, 1976. 109 с.
- Магницкий В.А.* Слой низких скоростей верхней мантии Земли // VIII чтения им. В.И. Вернадского. М.: Наука, 1968. 29 с.
- Макаров В.И.* О геодинамических условиях формирования Окско-Донецкого прогиба и Окско-Цнинского вала (Русская плита) // Изв. вузов. Геол. и разведка. 2001. № 1. С. 43–55.
- Макаров В.И., Макарова Н.В., Несмеянов С.А.* и др. Новейшая тектоника и геодинамика: область сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты. М.: Наука, 2006. 206 с.
- Макарова Н.В., Макаров В.И., Корчуганова Н.И.* и др. Донской прогиб — неотектоническая альтернативная зона Восточно-Европейской платформы // Изв. вузов. Геол. и разведка. 2002. № 2. С. 3–13.

- Макеев В.М.* Структурно-геодинамические условия устойчивости особо опасных и технически сложных объектов на древних платформах: Автореф. дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. М., 2015. 50 с.
- Мещеряков Ю.А.* Структурная геоморфология равнинных стран М.: Наука, 1965. 390 с.
- Мострюков А.О., Петров В.А.* Каталог механизмов очагов землетрясений, 1964–1990 гг. // Мат-лы Мирowego центра данных. Б. м., 1994. 87 с.
- Николаев Н.И.* О новейшем этапе развития Фенноскандии, Кольского полуострова и Карелии // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1967. Т. 42, вып. 1. С. 49–68.
- Николаев Н.И.* Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра, 1988. 491 с.
- Никонов А.А.* Голоценовые и современные движения земной коры (геолого-геоморфологические и сейсмико-тектонические вопросы). М.: Наука, 1977. 240 с.
- Никонов А.А., Усольцева О.А., Гамбурцева Н.Г.* и др. Проблемы современной геодинамики Балтийского щита: исследования на основе новых разработок // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. Мат-лы XLVII Тектонического совещ. Т. 2. М.: ГЕОС, 2015. С. 11–15.
- Полканов А.А.* Геология хогландия-иотния Балтийского щита // Тр. Лаб. геол. докембрия. Вып. 6. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 122 с.
- Раскатов Г.И.* Основные этапы формирования рельефа и новейшая тектоника Восточных Карпат в пределах СССР // Землеведение. 1957. Т. 4 (44). С. 40–51.
- Раскатов Г.И.* Геоморфология и неотектоника территории Воронежской антеклизы. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1969. 164 с.
- Сим Л.А.* Неотектонические напряжения Восточно-Европейской платформы и структур обрамления: Автореф. дисс. ... докт. геол.-минерал. наук. М., 1996. 43 с.
- Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Развитие Земли. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 506 с.
- Спиридонов А.И.* Геоморфология Европейской части СССР. М.: Высшая школа, 1978. 335 с.
- Схема новейших тектонических движений Восточно-Европейской платформы. Масштаб 1:30000000 / Карта осредненного рельефа земной поверхности ВЕП. Масштаб 1:5000000 (Гл. ред. В.В. Бронгулеев). 1986.
- Трегуб А.И.* Неотектоника территории Воронежского кристаллического массива // Труды Научно-исслед. ин-та геол. Воронеж. гос. ун-та. Вып. 9. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2002. 220 с.
- Трифонов, В.Г., Соколов С.Ю.* На пути к постплейт-тектонике // Вестн. РАН. 2015. Т. 85, № 7. С. 605–615.
- Шатский Н.С.* Избранные труды. Том II. М.: Наука, 1964. 720 с.
- Штауб Р.* Механизм движений земной коры. Л.; М.: ГОНТИ, 1938. 271 с.
- Шукин Ю. К.* Глубинная сейсмоструктура Северной Евразии // Недра Поволжья и Прикаспия. 1996. Вып. 13. С. 3–16.
- Юдахин Ф.Н., Шукин Ю.К., Макаров В.И.* Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 299 с.
- Berzin R., Oncken O., Knapp J.H.* et al. Orogenic evolution of the Uralian mountains: results from an integrated seismic experiment // Science. 1996. Vol. 274. P. 220–221.
- Burek P.J.* Rift-Parallele Schildwellungen in Arabien und auf den Zirkum N-Atlantischen Tafeln // Geol. Rundschau. 1981. Vol. 70, N 2. P. 385–401.
- Davy P., Cobbold P.R.* Indentation tectonics in nature and experiment. 1. Experiments scaled for gravity // Bull. Geol. Inst. Uppsala, 1988. Vol. 14. P. 129–141.
- De-Geer G.* Kontinentale Niveauperänderungen im Norden Europas // Peterm. Mitteil. 1912. Jahrg. 18, Halb. 2. S. 121–125.
- Mörner N.-A.* The Fennoscandian uplift and Late Cenozoic geodynamics: Geological evidence // GeoJournal. 1979. Vol. 3. P. 287–318.
- Mörner N.-A.* Paleoseismicity of Sweden: a novel paradigm. Paleogeophysics & Geodynamics. Stockholm University. Stockholm, Sweden, 2003. 320 p.
- Müller B., Zoback M.L., Fuchs K.* et al. Regional patterns of tectonics stress in Europe // J. Geophys. Res. 1992. Vol. 97, N B8. P. 11783–11803.
- Regard V., Faccenna C., Martinod J., Bellier O.* Slab pull and indentation tectonics: insights from 3D laboratory experiments // Phys. Earth Planet. Inter. 2005. Vol. 149. P. 99–113.
- Schulmann K., Lexa O., Stipska P.* et al. Vertical extrusion and horizontal channel flow of orogenic lower crust: key exhumation mechanisms in large hot orogens? // J. Metamorphic Geol. 2008. Vol. 26. P. 273–297.
- Scotese C.R.* Atlas of Earth History. Paleogeography, PALEOMAP Project, Vol. 1. Arlington, Texas, 2001. 52 p.

Сведения об авторах: *Зыков Дмитрий Сергеевич* — канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. ГИН РАН, e-mail: zukov58@yandex.ru; *Полещук Антон Владимирович* — канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. ГИН РАН, e-mail: anton302@mail.ru