

УДК 551.243(571.1)

## СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ ВЛАДИМИРСКО-ВЯТСКОЙ ЗОНЫ ДИСЛОКАЦИЙ И ПОЛОЖЕНИЕ ПУЧЕЖ-КАТУНКСКОГО КРАТЕРА (ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ПЛАТФОРМА)

© 2014 г. С. Ю. Колодяжный

Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7

Поступила в редакцию 11.03.2013 г.

Пучеж-Катунская (ПК) структура, расположенная в Среднем Поволжье центральной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП), выражена в качестве системы сложных дислокаций и метеоритного кратера с центральным поднятием. На основании структурных исследований были выявлены признаки ее длительного развития. Установлены четыре стадии деформаций: 1) покровно-складчатые и 2) транспрессионные деформации герцинского этапа; 3) импактное формирование кратерной воронки и системы радиально-концентрических нарушений в ранней юре; 4) малоамплитудная тектоническая активизация герцинских разрывных структур, имевшая место на киммерийско-альпийском этапе развития. В целом ПК структура приурочена к наиболее тектонически напряженному сегменту Владимирско-Вятской зоны дислокаций, разделяющей крупнейшие палеоструктуры ВЕП. Она представляет собой долгоживущую зону, развивавшуюся циклично, начиная с коллизионных событий палеопротерозоя, вплоть до киммерийско-альпийского этапа активизации. Такое “прицельное” попадание метеоритного тела в узел концентрации деформаций одного из крупнейших тектонических нарушений ВЕП выглядит маловероятным. Тем не менее, имеющиеся на данный момент материалы, – оценки амплитуд импактного воздействия (до 50 ГПа) и закономерное их снижение с глубиной – не позволяют отказаться от метеоритного генезиса ПК структуры.

*Ключевые слова:* внутриплитная зона дислокаций, структурный парагенез, импактная структура.

DOI: 10.7868/S0016853X14020040

### ВВЕДЕНИЕ

Тектонический стиль платформенных областей во многом определяется вертикальными перемещениями, контролирующими крупномасштабные блоково-разрывные и пологие пликвативные структуры. Эти тектонические проявления сопоставляются с периодом относительно спокойного развития платформы. На фоне этого тектонического ансамбля существует другой ряд структур, имеющих аномальный для платформы “альпинотипный” облик. Они представлены внутриплитными зонами смятия и сдвиговых дислокаций, надвигами и покровно-складчатыми нарушениями, сжатыми складками и протрузиями. Факт наличия таких структур неоднократно отмечался геологами, изучавшими строение осадочного чехла Восточно-Европейской платформы [1–5, 7, 11, 14, 15, 17–23, 26, 27, 30, 32, 35]. Природа и генезис этих нарушений дискуссионны и, нередко, по отношению к той или иной структуре в литературе появляются взаимоисключающие тектонические, гравитационные, космогенические и гляциодинамические представления о механизмах их формирования. Примером такого рода структур являются Пучеж-Катунские дислокации пород осадочного чехла и ассоциирующие с ними

брекчии, расположенные почти в центре ВЕП в области Среднего Поволжья.

**Краткий очерк истории исследований.** Пучеж-Катунские дислокации давно известны и доступны наблюдению в крутых обрывах р. Волги по берегам Горьковского водохранилища в широкой (десятки километров) полосе (рис. 1). Они были отмечены еще в XIX веке Р.И. Мурчисоном и на протяжении более ста лет представляли собой геологическую загадку. Обзор исследований и основных взглядов на происхождение Пучеж-Катунской (ПК) структуры приводится во многих работах [10–12]. По мере накопления геологических материалов эти дислокации рассматривались в качестве древних оползней, триасовых или четвертичных гляциодислокаций, проявлений диапиризма, как результат инъекционной или гравитационной тектоники.

После того, как в 50-х годах прошлого века буровыми работами в пределах ПК структуры был выявлен Воротиловский выступ архейского фундамента, их происхождение стали связывать исключительно с тектоническими процессами, в частности, с вертикальными перемещениями кристаллического цоколя и явлениями оползания палеозойских толщ на склонах поднятия [28]. Одновременно появились гипотезы о взрывном и

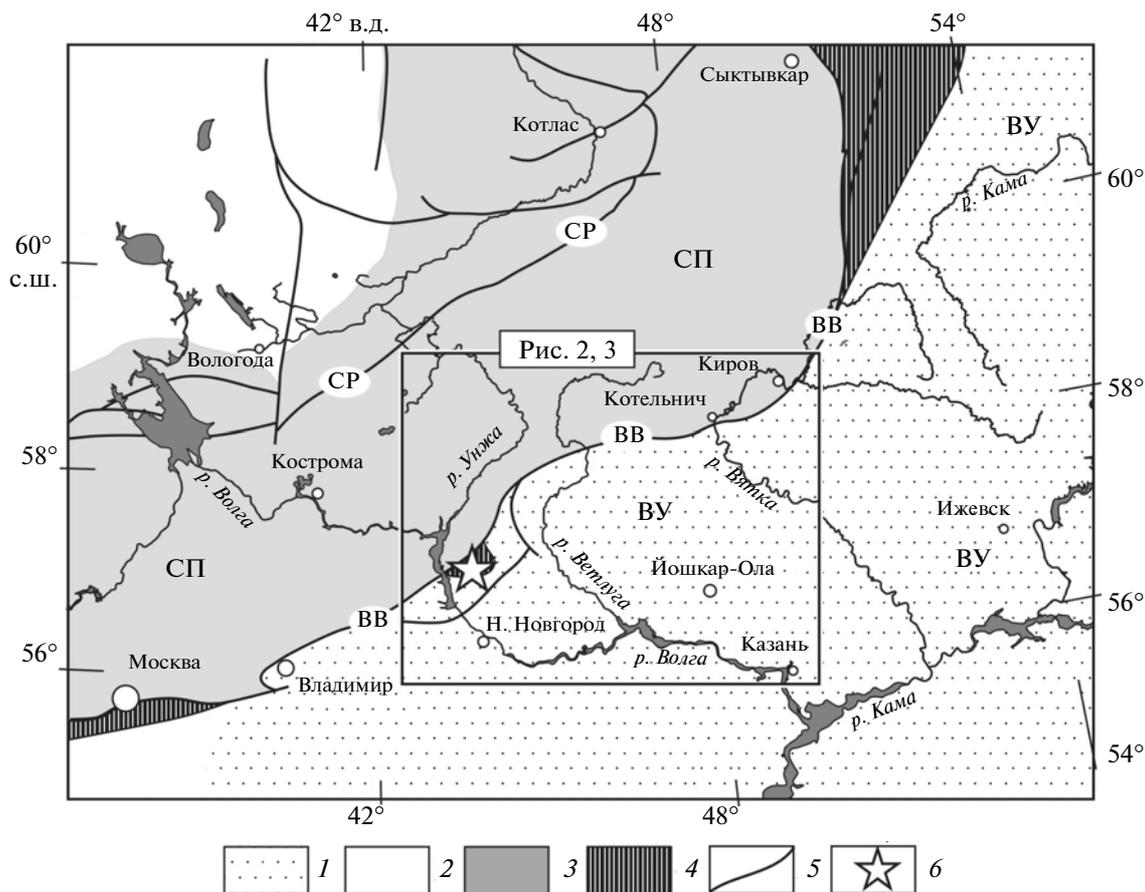


Рис. 1. Схема тектонического районирования фундамента ВЕП, на основе [9]

1, 2 – архейские кратоны: 1 – Волго-Уральский, 2 – Карельский и др.; 3 – Среднерусский коллизионный пояс; 4 – палеопротерозойские сутурные пояса; 5 – крупнейшие зоны нарушений; 6 – Пучеж-Катунская структура. ВУ – Волго-Уралия, СП – Среднерусский пояс, СВ – Среднерусская зона, ВВ – Владимирско-Вятская зона

вулкано-тектоническом происхождении данной структуры, сопоставляемой, в последнем случае, с трубкой взрыва [6, 30]. Эти взгляды получили развитие в представлениях Р.Р. Туманова о многофазной эксплозивной структуре, развивавшейся на данной территории в интервале времени от поздней перми до средней юры [33]. Согласно этой гипотезе, в конце перми здесь сформировалась положительная структура глыбового характера (Воротилковский выступ), которая в дальнейшем испытала резкий подъем, что обусловило формирование кольцевых и радиальных разломов, которые вызвали дегазацию подкорового вещества. Скопление газов в отдельных камерах приводило к неоднократным близповерхностным взрывам, дроблению и смятию пород. Серьезными доводами в пользу этих представлений являются приуроченность данной кольцевой структуры к зоне тектонических нарушений и длительный период ее развития [7, 12, 25, 28, 35]. В частности, Р.Н. Валеев связывал Воротилковский выступ с Пучеж-Катунской зоной взбросов и надвигов, входящих в состав Сурско-Камской системы шарьяжей, которая, заложившись в до-

кембрии, испытала активизацию на “позднеплатформенном” этапе развития [3–5].

Альтернативой тектоническим и эксплозивным моделям явилась гипотеза импактного происхождения ПК структуры, основанная на ее морфологическом сходстве с воронками метеоритных кратеров [34]. Эти представления получили более полное обоснование после того, как была пробурена Воротилковская глубокая скважина (5374 м) в области одноименного выступа фундамента. На основании комплексного анализа керна этой скважины, материалов геологической съемки (151 скважина) и геофизических данных были составлены объемные модели ПК структуры, выявлены признаки ударного метаморфизма и плавления пород, а тектонические брекчии, развитые в области кратера, были идентифицированы как коптогенные комплексы [10].

Гипотеза метеоритного происхождения ПК структуры была принята многими исследователями и, как следствие, одноименная зона дислокаций исчезла на современных тектонических и геологических картах. Однако, по мнению ряда

геологов, отсутствие прямых признаков метеоритного вещества в составе “коптогенных” комплексов и приуроченность ПК структуры к протяженной зоне тектонических нарушений, по-прежнему, оставляют вопрос о ее происхождении открытым [12, 35].

**Методика исследований.** Не имея цели подтвердить или опровергнуть ту или иную гипотезу в отношении ПК структуры, нами были проведены структурные исследования по изучению крупной тектонической зоны, с которой она связана. В процессе полевых работ использовались методы структурно-кинематического и парагенетического анализ, приемы которых были рассмотрены ранее [16, 17, 21, 24]. При обработке структурных данных использовались компьютерные программы, в частности, для анализа ориентировок и направлений штрихов скольжения использовалась программа FaultKin6 [37]. Также использовались методы дистанционного изучения структур на основе дешифрирования цифровых карт рельефа и аэро-космоснимков. Из множества выявленных линейментов выбирались системы нарушений, имеющих связь с выраженными в изогипсах структурами чехла и фундамента, а также проявленных в конфигурации гравитационных и магнитных полей. Предварительная кинематическая идентификация нарушений проводилась на основе анализа структурных рисунков (по [21, 24]). Результаты дистанционного анализа уточнялись на основе полевых исследований.

### ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ПУЧЕЖ-КАТУНКСКОЙ СТРУКТУРЫ

Анализ геолого-геофизических материалов показывает, что ПК структура приурочена к протяженной зоне тектонических нарушений, которая проявлена на всех структурных этажах платформы и хорошо выражена в конфигурации полей магнитных и гравиметрических аномалий. Согласно работе М.В. Минца с соавторами [9], данная зона является крупнейшей тектонической границей для комплексов кристаллического фундамента ВЕП и рассматривается в качестве “пограничной” сутурной зоны, обрамляющей с юго-востока Среднерусский пояс, – один из сегментов гигантского Лапландско-Среднерусско-Южноприбалтийского палеопротерозойского коллизийного орогена (см. рис. 1). Зона маркируется выходами палеопротерозойских вулканогенно-осадочных поясов, наиболее полно представленных на ЮЗ и СВ рассматриваемого района. Примерно от г. Владимира и до верхнего течения р. Вятки эти пояса почти полностью выклиниваются, и данная зона нарушений, погружаясь преимущественно к СЗ, служит непосредственной границей Среднерусского пояса и Волго-Уральского неогаргейского сегмента ВЕП [9]. В дальнейшем эта часть тектонического нарушения бу-

дет рассматриваться под названием Владимирско-Вятской (ВВ) зоны дислокаций (см. рис. 1).

На уровне кровли кристаллического фундамента ВВ зона выражена заметным усложнением морфологии его поверхности по отношению к смежным областям (рис. 2). Анализ карты изогипс “рельефа” фундамента показывает, что данное нарушение представлено целой системой разрывов высокого порядка, образующих пояс шириной от 30 до 60 км. В пределах ЮЗ части пояса размещается Воротиловский выступ фундамента с вертикальной амплитудой поднятия порядка 2 км. По направлению к СВ пояс расширяется, затем пересекает и нарушает строение Котельничского свода, после чего, постепенно сужаясь, сливается с системой сбросов, ограничивающих Вятско-Кажимский рифейский авлакоген (см. рис. 2). На большей части своей протяженности ВВ зона разделяет Московскую синеклизу и Волго-Уральскую антеклизу. Склон между этими структурами в ее пределах становится более крутым. Тектоническая позиция зоны согласуется и с региональной структурой осадочного чехла, в частности, с конфигурацией стратогипс верейского горизонта среднего карбона (рис. 3А).

На уровне современного эрозионного среза конфигурация ВВ зоны во многом повторяет особенности ее строения на поверхности фундамента (см. рис. 3А). Она хорошо выражена в рельефе, в частности, при ее пересечении с крупными водотоками отмечаются резкие дугообразные и колленообразные изгибы долин огромной амплитуды (см. рис. 3Б). В пределах центрального и СВ сегментов ВВ зоны дешифрируется система линейментов, образующих структурный рисунок закономерного сочетания магистральных (продольных) и оперяющих (диагональных) сдвигов R и R' типов. Здесь в строении зоны также выявлены тектонические валы, ориентированные продольно и диагонально к ее простиранию [12, 13]. В целом это свидетельствует о проявлении сдвиговых дислокаций (см. рис. 3). В своей СВ части ВВ зона плавно сливается с системой Вятско-Казанских дислокаций, известных также в качестве одноименной системы инверсионных валообразных структур чехла, расположенных над рифейским Вятско-Кажимским авлакогеном [13, 22] (см. рис. 3А). В ЮЗ секторе зоны, где размещается ПК структура и отмечается ее общий сигмообразный изгиб в плане, дешифрируются дугообразные фестончатые системы нарушений и секущие их линейменты, образующих структурный рисунок характерный для сдвиго-надвиговых зон (см. рис. 3Б).

Результаты дешифрирования были заверены полевыми наблюдениями в долинах рек Волги, Унжи, Ветлуги и Вятки. В строении ВВ зоны участвуют отложения верхней перми, нижнего триаса, юры и нижнего мела, дислоцированные в различной степени. Наиболее значительные складчато-разрывные деформации отмечаются в пермских осадках. В отложениях мезозоя их ин-

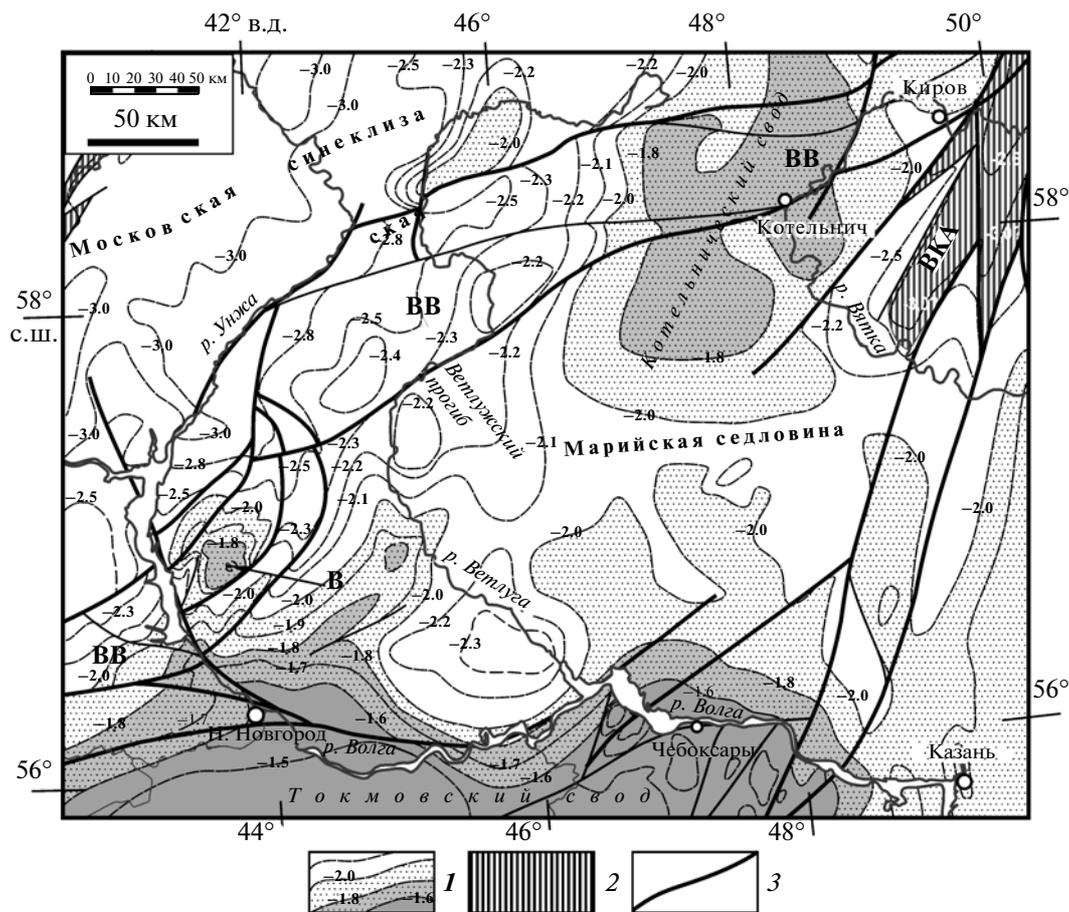


Рис. 2. Структурная карта поверхности кристаллического фундамента Волго-Вятского региона, на основе [7, 8, 10, 12, 13]. Местоположение см. рис. 1

1 – изогипсы кровли кристаллического фундамента; 2 – рифейские авлакогены; 3 – разрывные нарушения. ВКА – Вятско-Кажимский авлакоген, ВВ – Владимирско-Вятская зона, В – Воротилловский выступ

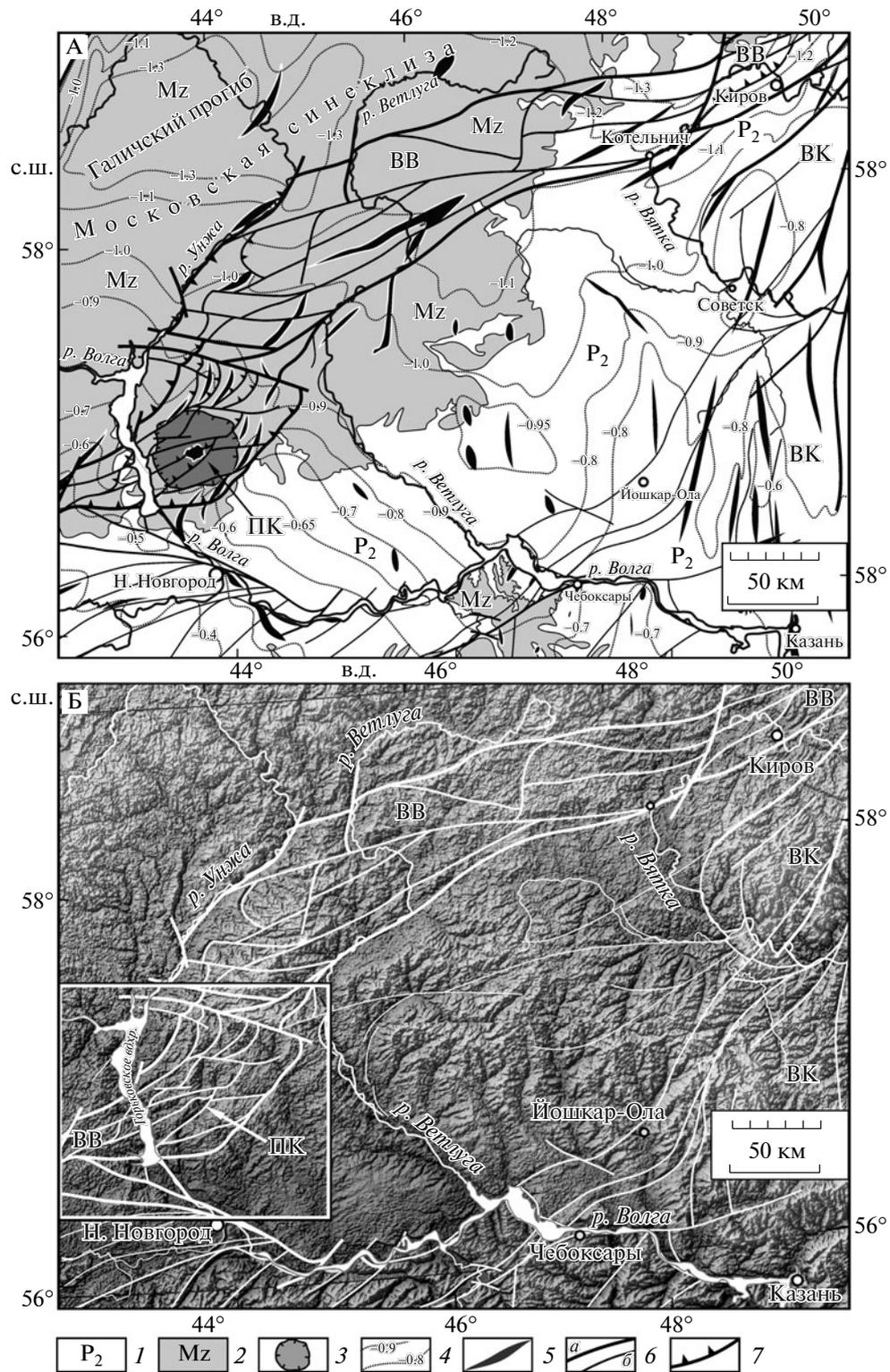
тенсивность заметно снижается: отмечаются пологие складки и участки моноклинального (до  $20^\circ$ ) залегания слоев, но широко развиты зоны трещиноватости и брекчирования, иногда, тектонический меланж. В ЮЗ сигмообразном секторе ВВ зоны интенсивность деформаций в пермских слоях достигает максимальных значений. Именно здесь располагается ПК кольцевая депрессия, которая, “прошивая” насквозь венд-палеозойские и нижнетриасовые осадки чехла, заполнена нижнеюрскими брекчиями, осадками средней – верхней юры и нижнего мела, в основном скрытыми под чехлом неогеновых и четвертичных отложений.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПУЧЕЖ-КАТУНКСКОЙ СТРУКТУРЫ

Рассмотрим особенности строения ПК структуры (депрессии) на основе синтеза современных и более ранних материалов [3–5, 7, 8, 10–12, 14, 15]. Область ее проявления отличается высокой степенью расчлененности поверхности кристал-

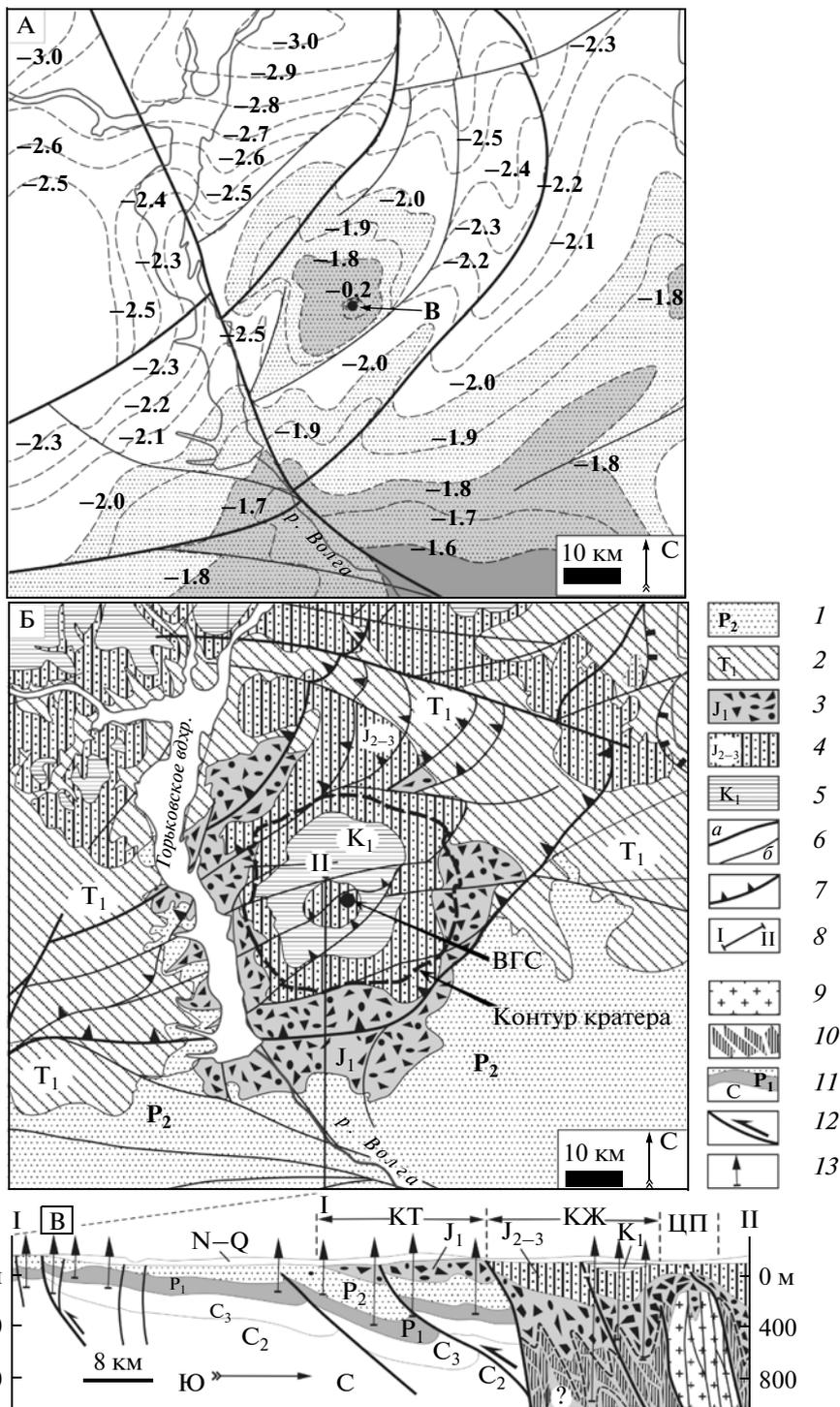
лического фундамента (рис. 4А). В ее структуре намечаются системы линейно-дугообразных поднятий, облекающих штокообразный Воротилловский выступ фундамента. При амплитуде порядка 2 км он “протыкает” осадки чехла в центре ПК депрессии, почти достигая эрозионной поверхности. На его склонах обособлены уступы амплитудой в сотни метров. Коренные породы фундамента облекаются мощными (сотни метров) шлейфами “мегаблоковых брекчий”, которые связаны постепенными переходами с аллогенными брекчиями кристаллических пород [10]. Ввиду отсутствия четко выраженной границы кровли фундамента, представления разных авторов о морфологии Воротилловского выступа существенно отличаются [7, 10, 12].

В обрамлении ПК депрессии бурением вскрыты вендские аргиллиты, терригенно-карбонатные толщи среднего и верхнего девона, преимущественно карбонатные отложения карбона, ангидрит-карбонатные породы нижней перми, преимущественно терригенные пестроцветные слои верхней перми и нижнего триаса. Общая



**Рис. 3.** Структурные схемы Волго-Вятского региона: тектонического строения фанерозойского чехла (на основе [12, 13, 31]) (А), дешифрирования цифровой карты рельефа (Б). Местоположение см. рис. 1

На А. 1, 2 – отложения: 1 – верхней перми, 2 – мезозоя; 3 – Пучеж-Катунская депрессия; 4 – стратозигопсы кровли верейского горизонта московского яруса (С<sub>2</sub>); 5 – валообразные структуры; 6 – линейменты и разрывы (сдвиги и взбросо-сдвиги): а – главные, б – второстепенные; 7 – взбросы и надвиги. ВВ – Владимирско-Вятская и ВК – Вятско-Казанская зоны, ПК – Пучеж-Катунская структура. На Б. Белые линии – разрывы



**Рис. 4.** Схемы строения Пучеж-Катунской структуры, на основе [3–5, 7, 10, 11, 12]. Местоположение см. рис. 36. А – структурная схема кровли фундамента (условные обозначения см. рис. 2). Б – геолого-структурная схема. В – геолого-структурный разрез по линии I–II.

На Б. 1–5 – отложения: 1 – верхней перми, 2 – нижнего триаса, 3 – нижней юры (коптогенные брекчии), 4 – средней и верхней юры, 5 – нижнего мела; 6 – главные (а) и второстепенные (б) разрывы (сдвиги и взбросо-сдвиги); 7 – взбросы и надвиги; 8 – линия разреза I–II. На схеме В. 9 – архейские гнейсы; 10 – мегаблоковые брекчии (складчато-надвиговые структуры?); 11 – отложения карбона и перми (C<sub>2-3</sub>–P<sub>1-2</sub>); 12 – разрывы и направления перемещений; 13 – скважины. В – Воротиловский выступ, ВГС – Воротиловская скважина, КТ – Кольцевая терраса, КЖ – кольцевой жолоб, ЦП – центральное поднятие

мощность чехла здесь варьирует в пределах 1.8–2.5 км (см. рис. 4А).

Субизометричная в плане ПК кольцевая депрессия, имеющая диаметр порядка 70 км, обособлена в комплексах осадочного чехла по структурным и литологическим признакам (см. рис. 4Б, 4В). В ее строении выделяются цокольный, коптогенный, заполняющий и перекрывающий комплексы. Сложно дислоцированные кристаллические породы архея и перекрывающего их чехла, включая отложения от венда до нижнего триаса, составляют цоколь, в теле которого сформирован кратер. В его морфологии обособлено центральное поднятие (Воротилковский выступ) и обрамляющий его кольцевой желоб диаметром 40–42 км и глубиной, предположительно, до 1900 м [10]. Самая глубокая часть желоба взрезает отложения венда. По внешнему периметру кольцевой депрессии развита зона ступенчатых уступов и надстраивающая их по периферии кратера кольцевая терраса (см. рис. 4В). Кольцевая воронка отчасти заполнена нижнеюрским коптогенным комплексом – различного типа брекчиями и импактитами, возникшими в процессе образования кратера за счет пород цокольного комплекса. Образование средней – верхней юры, нижнего мела и кайнозоя рассматриваются в качестве заполняющего и перекрывающего комплексов [10].

Внешняя граница кольцевой террасы определяется контурами распространения нижнеюрских аллогенных брекчий (см. рис. 4Б, 4В). В северной части ПК структуры цоколь террасы сложен преимущественно отложениями нижнего триаса, а в юго-западной и южной – осадками верхней перми. Материалы сейсмического профилирования показывают, что в палеозойских толщах цоколя террасы и желоба намечается ряд кольцевых валов и сопряженных с ними взбросов, затухающих по мере удаления от эпицентра ПК структуры (см. рис. 4В). Помимо концентрических нарушений поверхность кольцевой террасы осложняет система радиальных желобов, в которых отмечается резкое увеличение мощности коптогенных брекчий. Их глубина достигает 180 м при ширине 1–6 км и протяженности в десятки километров [10].

Кольцевой желоб в основном заполнен коптогенными “мегаблоковыми брекчиями”, образованными клиппенами и блоками пород венда и палеозоя, размером в сотни метров (см. рис. 4В). Их мощность варьирует от 0.8 до 1.5 км. Граница их с материнскими породами цоколя условная [10]. По материалам бурения в этих образованиях установлено сложное совмещение и надвигание пластин и блоков разновозрастных комплексов пород, отмечены повторения разрезов и их опрокинутые последовательности. В более ранних работах данные образования рассматривались в качестве широкой зоны складчато-надвиговых дислокаций, обрамляющей Воротилковский выступ [3–5, 7, 11, 28]. В современных построениях эти

структуры рассматриваются как коптогенный комплекс [10], что, с одной стороны, “решило” проблему складчатости, с другой, – позволило нарастить мощность коптогенных образований и, соответственно, глубину ПК кратера почти в пять раз.

Мегаблоковые и клиппеновые брекчии перекрываются щебенчато-глыбовыми полимиктовыми брекчиями, местами зювитами и коптокластами мощностью до 400 м. В краевых частях депрессии и в области кольцевой террасы широко развиты щебенчато-глыбовые пестроцветные брекчии, состоящие преимущественно из обломков пермских и триасовых пород. В пределах кольцевой депрессии эти типично коптогенные образования перекрыты среднеюрскими осадками кратерного озера (мощность до 340 м), которые, в свою очередь, перекрываются слоями верхней юры, нижнего мела и кайнозоя (мощность до 162 м) [10].

В кристаллических породах Воротилковского выступа фундамента и в обломках пород коптогенного комплекса установлены многочисленные признаки ударно-термальных преобразований. Согласно материалам бурения Воротилковской скважины (5374 м), кристаллические породы архея сильно раздроблены, пронизаны жилами тагамитов, зонами псевдотахилитов и катаклазитов [10]. Ударные преобразования выражены в появлении конусов разрушения, трещиноватости и брекчирования, в форме диаплектовых изменений минералов, в переходе их в разупорядоченные и высокоплотные фазы (алмазы), а также в плавлении. По оценкам амплитуд ударного воздействия максимальные их значения (45–50 ГПа) отмечаются в верхней части ствола Воротилковской скважины, постепенно снижаясь к забою (до 15–20 ГПа) [10]. К-Аг датировки импактных стекол и тагамитов охватывают промежуток времени от  $200 \pm 3$  млн лет до  $183 \pm 5$  млн лет [10]. Возраст перекрывающих коптогенные брекчии отложений соответствует средней юре.

#### СТРОЕНИЕ ЗАПАДНОГО БОРТА ПУЧЕЖ-КАТУНКСКОЙ СТРУКТУРЫ

Структурные ансамбли западного борта ПК структуры были изучены в разрезах, представленных вдоль обрывов р. Волги по берегам Горьковского водохранилища. Здесь обнажаются пестроцветные отложения татарского яруса верхней перми и нижнего триаса, образующие цокольный комплекс кольцевой террасы, а также перекрывающие их со структурно-стратиграфическим несогласием щебенчато-глыбовые коптогенные брекчии нижней юры (см. рис. 4Б). Весь комплекс отложений осложнен складчато-разрывными нарушениями, характер и интенсивность которых варьируют в латеральном направлении и в различных комплексах пород.

Наиболее интенсивные деформации наблюдаются в пермских осадках южной части Горьков-

ского водохранилища в полосе шириной до 30 км. Здесь породы пронизаны частой системой зон нарушений субширотного и ВСВ простирания, в пределах которых слои испытывают интенсивное смятие. Ширина зон достигает сотен метров. В их бортах деформации постепенно затухают. В целом по разрезу наблюдается чередование полос интенсивных и слабых деформаций, связанных постепенными переходами. В отложениях триаса и коптогенных брекчиях юры характер дислокаций существенно иной, а степень деформаций значительно ниже (см. ниже).

Структурные особенности пермских отложений свидетельствуют о проявлении в данных образованиях полистадийных деформаций. Их слои, представленные реологически контрастным переслаиванием аргиллитов, известняков и песчаников, образуют складки различной морфологии, нарушенные сложной системой разрывов разных генераций (рис. 5). При полевых исследованиях были изучены соотношения (характер пересечений и наложений) структур разных генераций, что показано на разрезах соответствующими индексами ( $D_1$ – $D_4$ ) (см. рис. 5). Это послужило основой для систематизации и разбраковки данных замеров ориентировки различных структур.

**Статистический анализ ориентировки слоистости пермских отложений** показывает, что ее полюса образуют два главных и один второстепенный пояса рассеивания (см. рис. 5В, диаграмма I). Первый из них соответствует дуге большого круга и характеризует цилиндрические складки ( $F_1$ ), осевая плоскость которых имеет ВСВ ориентировку и наклонена к ССЗ. Второй пояс приурочен к дуге малого круга и соответствует складкам конической морфологии с субширотной ориентировкой осевой плоскости ( $F_2$ ). Третий слабо выраженный пояс вдоль дуги большого круга, возможно, свидетельствует о проявлении третьей генерации складок. Первые две системы складок почти коаксиальны: угол между их осевыми плоскостями составляет  $20^\circ$ . Замеры ориентировки шарниров мелких складок в основном согласуются с геометрически найденными шарнирами крупных пликативных структур.

**Статистический анализ ориентировки штрихов на поверхности зеркал скольжения** показал, что “валовая” обработка этих данных не корректна. В соответствии со структурными наблюдениями была предпринята разбраковка этих данных. В результате были выявлены четыре кинематические группы нарушений. Первой группе (генерации) соответствуют полого падающие к ССЗ надвиги, висячие крылья которых надвинуты к ЮЮВ (см. рис. 5В, диаграмма II). Вторая группа объединяет комплексный парагенез структур: дивергентные системы взбросов, сдвига-взбросов и надвигов, а также сдвигов, соответствующих обстановке субмеридионального сжатия (транспрессии) (см. рис. 5В, диаграмма III). Полученные с

помощью программы FaultKin6 направления горизонтального сжатия для этих двух групп нарушений, согласуются с данными по ориентировке складчатых структур (см. рис. 5В, диаграммы I–III). Третья кинематическая группа нарушений отражает полную кинематическую инверсию главных осей деформации. Она соответствует преимущественно сбросам, характеризующим обстановку горизонтального растяжения в направлении ССЗ–ЮЮВ (см. рис. 5В, диаграмма IV). Четвертая группа нарушений в кинематическом отношении почти полностью идентична структурам второй и отчасти первой генераций. В пермских слоях она проявлена в явлениях реактивизации ранних разрывов, выраженных в малоамплитудных смещениях.

### СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗЫ И ИХ СООТНОШЕНИЯ

В процессе исследований в районе ПК депрессии было выявлено четыре генерации структурных парагенезов.

**Структурные парагенезы первой генерации ( $D_1$ )** представлены покровно-складчатыми структурами и зонами тектонического меланжа, сохранившимися в реликтовых формах на фоне наложенных деформаций. Ранние опрокинутые, лежащие и ныряющие складки ассоциируют с надвигами и зонами меланжа, которые частично или полностью срезают их крылья (см. рис. 5А – центр и север; рис. 5Б – север). Сложная система разрывов осложняет ядра этих структур (см. рис. 5А – север). Создается впечатление, что слоистая толща здесь превращена в потерявшую целостность мегабрекчию. Однако маркирующие горизонты позволяют восстановить ее структуру, нарушенную закономерной системой нарушений (рис. 6А). Горизонтальные амплитуды складок-покровов составляют десятки метров. В их фронтальных частях отмечаются структуры оторванных замков (см. рис. 6Б). Мезоструктуры данной генерации (сланцеватость, кливаж, асимметричные складки) распознаются по признаку наложения на них более поздних структур (см. рис. 6Б–6Г).

Зоны тектонического меланжа, обрамляющие покровные складки, прослеживаются на многие десятки метров (см. рис. 5А). Видимая их мощность достигает 7–8 м. Они выполнены линзовидно-сланцеватым и меланжированным глинистым матриксом, включающим линзы и цепочки будин мраморизованных известняков, складки пластического течения и флазерные структуры (см. рис. 6Г, 5А – юг). В целом для зон тектонического меланжа реконструируется пологое залегание, осложненное наложенными складчато-разрывными структурами, которые сильно исказили их первичные кинематические признаки. Судя по характеру расположения фрагментов замков лежащих антиклиналей, надвигание происходило по направлению к ЮЮВ.

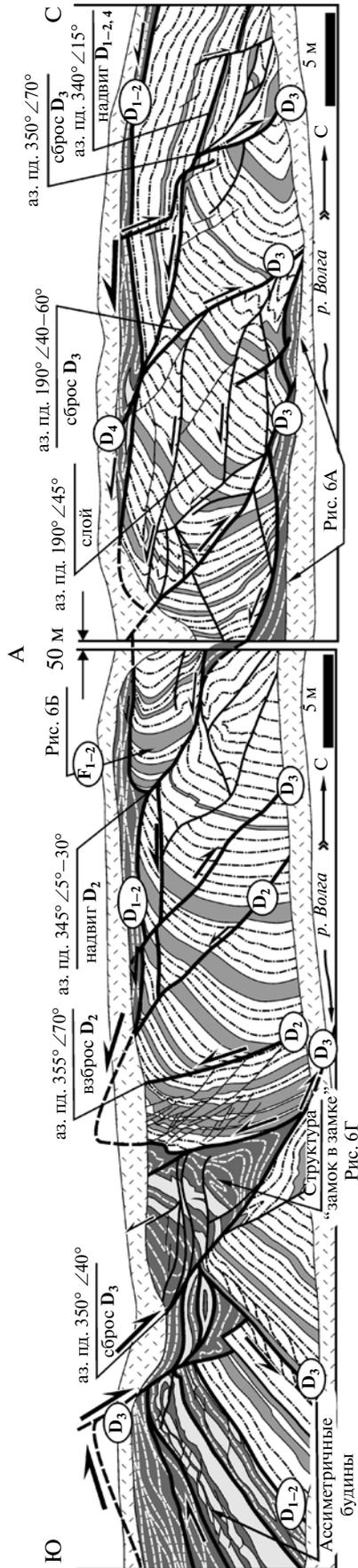


Рис. 6Г

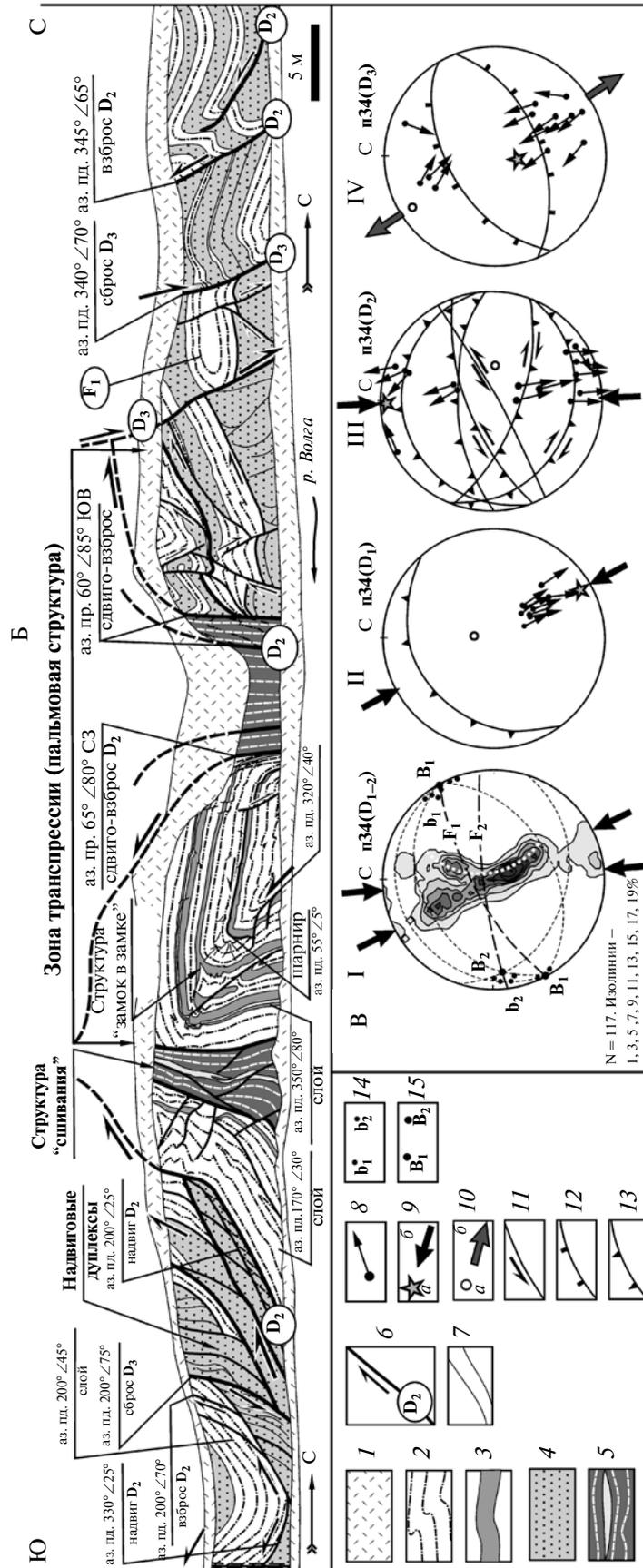
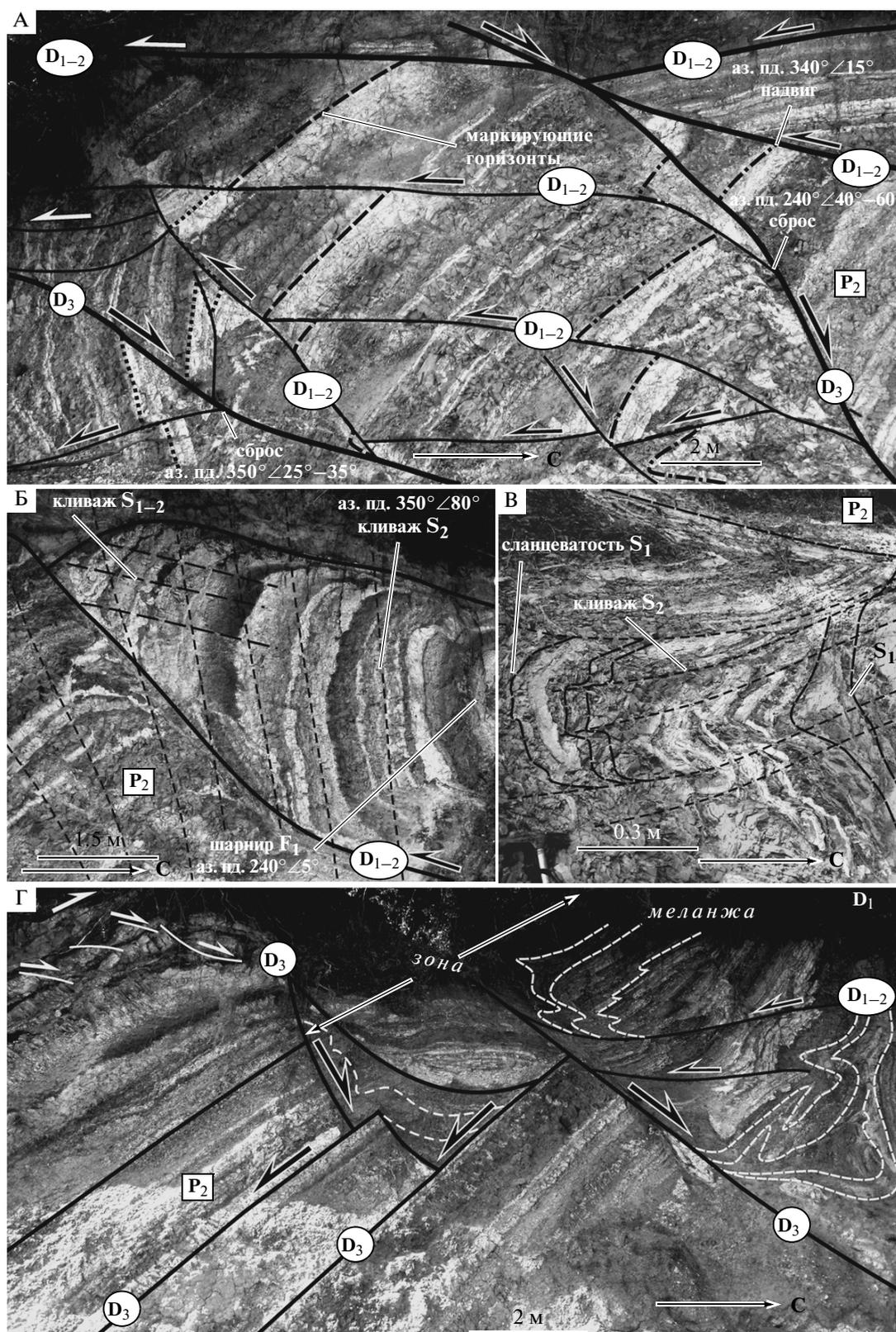


Рис. 5. Геолого-структурные разрезы дислоцированной толщи отложенной татарского яруса верхней перми (А, Б), местоположение см. пикет п34 на рис. 8. В – стереографические проекции (нижняя полусфера): I – полюсов слоистости, II–IV – полюсов сдвигов с векторами перемещения крыла для стадий деформаций D<sub>1</sub> (II), D<sub>2</sub> (III), D<sub>3</sub> (IV). 1 – четвертичные отложения; 2–4 – слои татарского яруса; 5 – известняки, 6 – песчаники; 7 – мергели; 8 – слои известняков, 9 – известняки и меланжа; 10 – разрывы, направления смещений и индексы стадий деформаций (D<sub>1</sub>–D<sub>4</sub>); 11 – шарниры складок первой и второй генераций; 12 – осевые плоскости складок первой и второй генераций (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>); 13 – сбросов и надвигов; 14, 15 – шарниры складок первой и второй генераций; 16 – осевые плоскости складок первой и второй генераций (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>); F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> – осевые плоскости складок первой и второй генераций; 17 – осевые плоскости складок первой и второй генераций; 18 – осевые плоскости складок первой и второй генераций; 19 – осевые плоскости складок первой и второй генераций. N = 117. Изометрии – 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19%.



**Рис. 6.** Фотографии структур дислоцированной толщи верхней перми (южная часть Горьковского вдхр.). А – структурные соотношения разрывов разных генераций в ядре лежащей антиклинами F<sub>1</sub>. Б – оторванная замковая часть лежащей складки F<sub>1</sub>. В – дисгармоничные складки пластического течения и пересечение плоскостных мезоструктур разных генераций. Г – зона тектонического меланжа (D<sub>1</sub>) и система секущих ее сбросов (D<sub>3</sub>). Пояснения знаков см. рис. 5

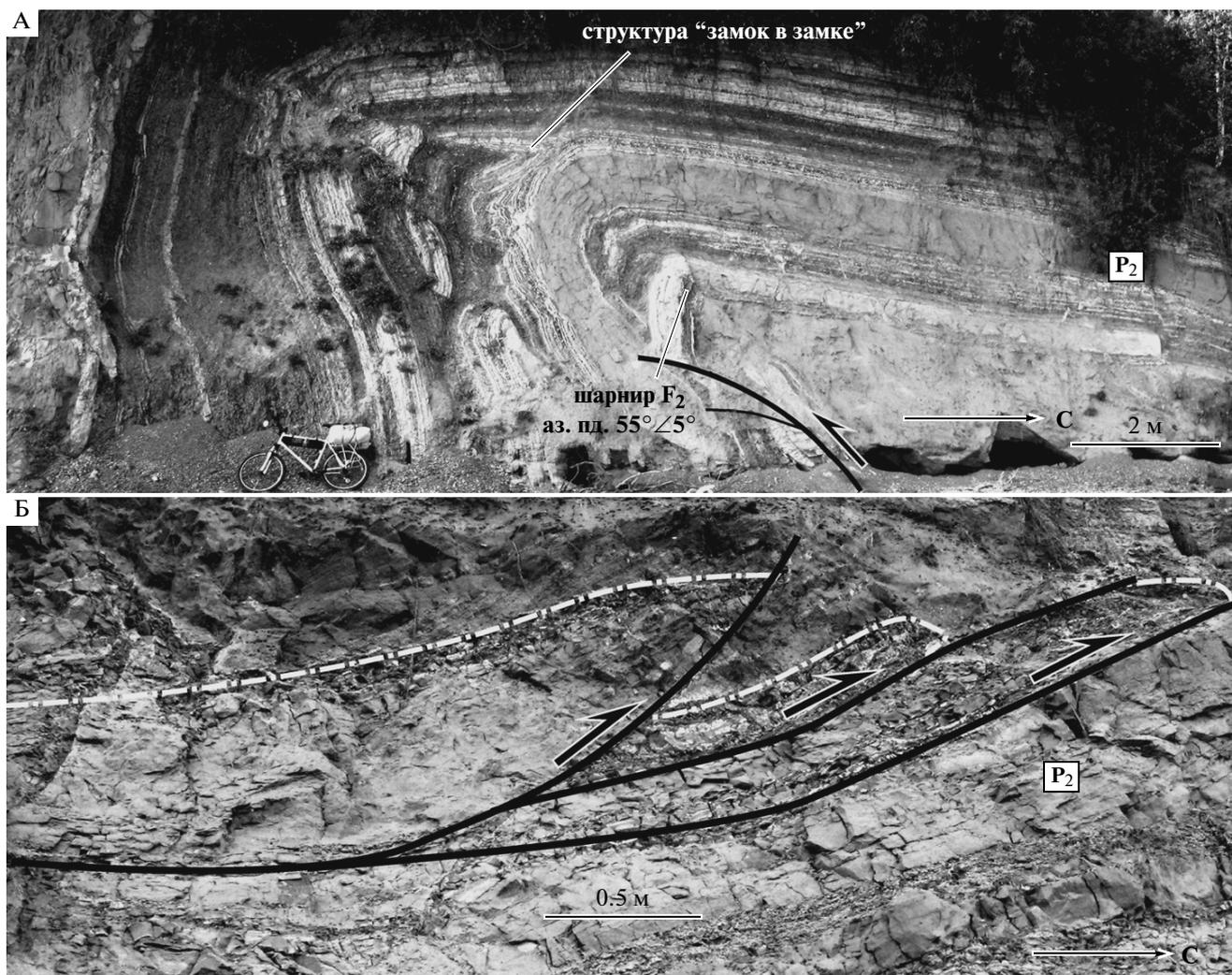


Рис. 7. Фотографии структур в осадках верхней перми (южная часть Горьковского вдхр.). А – опрокинутая асимметричная складка  $F_2$ . Б – надвиговые дуплексы ( $D_2$ )

**Структурные парагенезы второй генерации ( $D_2$ )** определяют главный стиль дислокаций пермских отложений. Они представлены взбросами, взбросо-сдвигами и надвигами, а также складками различной морфологии (см. рис. 5). Наиболее распространены асимметричные сжатые, иногда, опрокинутые складки конической морфологии (рис. 7А; см. рис. 5А, Б – центр). Ассоциирующие с ними взбросы и надвиги подрезают их крылья и нарушают ядра этих структур. Часто проявляется веерообразный по отношению к осевым плоскостям складок кливаж. В результате пластического течения и выжимания вещества из крыльев в область замков складок, в пределах последних образуются дисгармоничные складки нагнетания и многократное увеличение мощности пластичных слоев (см. рис. 7А, 6В). В замковых сегментах пликативных структур отмечаются признаки проявления более ранних деформаций: структуры “замок в замке”, пересечения разно-

ориентированных систем сланцеватости и кливажа (см. рис. 7А, 6В).

Данная система складок и взбросо-надвигов часто образует дивергентные “пальмовые” структуры. В их пределах складчатые тектонические пакеты расположены симметрично относительно крутопадающих взбросо-сдвиговых зон интенсивного расланцевания шириной до 10 м (см. рис. 5Б – центр). Оперяющие эти нарушения взбросы, расходясь в стороны от “стволовой” зоны, часто выполаживаются и трансформируются в надвиги и системы надвиговых дуплексов (см. рис. 7Б). Во многом сходные дивергентные структуры отмечаются в крыльях синформных складок, крылья которых испытывают срыв и надвигание в расходящихся направлениях (см. рис. 5Б – юг). Динамические построения позволяют полагать, что в основании такой дивергентной структуры находится зона сплющивания и нисходящего затягивания вещества. Между смежными ди-

вергентными структурами возникают вторичные зоны конвергенции – структуры “сшивания” (см. рис. 5Б – юг – центр). В целом данный парагенез, объединяющий дивергентно построенные “пальмовые” структуры с выжиманием горных масс вверх, либо затягиванием вниз, является типично транспрессионным.

Для структур первой и второй генераций характерна почти коаксиальная позиция осей горизонтального сжатия, ориентированных преимущественно в направлении ССЗ–ЮЮВ (рис. 8А, диаграммы). Структурные парагенезы этих стадий наблюдались только в осадках верхней перми. В залегающих выше отложениях мезозоя они не обнаружены. В результате проявления самой поздней стадии деформаций ( $D_4$ ) разрывные нарушения рассматриваемой системы ( $D_{1-2}$ ) испытали реактивизацию и проникли в мезозойские отложения (см. рис. 8А, 4Б, 4В). Но на этих верхних уровнях это уже совсем другие малоамплитудные структуры, для которых не свойственна полно развитая складчатость. Такие “подовленные” разрывы достигают современной поверхности и дешифрируются в рельефе в качестве поздних нарушений ( $D_4$ ).

**Структурные парагенезы третьей генерации ( $D_3$ )** представлены системой сбросовых и сбросо-раздвиговых нарушений, поверхности которых в целом конформны более ранним надвигам и взбросам. Сбросы секут и смещают надвиги и взбросы ранних генераций, а также зоны тектонического меланжа (см. рис. 5, 6А, 6Г). Встречаются крутые и пологие сбросы с наклоном в противоположных направлениях. В результате их сопряженного развития иногда образуются ступенчатые системы полуграбенов (см. рис. 5А – юг, 6Г).

В отличие от ранних структур горизонтального сжатия, локализованных вдоль зон нарушений, структуры растяжения относительно равномерно распределены по всему изученному разрезу перми и триаса. Они проявлены и на участках отсутствия ранних складчатых деформаций. Здесь хорошо видно, что сбросы этой системы представляют собой листрические структуры с антитетическим вращением блоков пород в их крыльях (рис. 9А). С глубиной они постепенно выполаживаются, сливаясь с плоскостями слоистости. Широко рас-

пространены мезоструктуры со сбросовой кинематикой: многочисленные сколы с зеркалами скольжения и сопряженные Х-образные минисбросы, указывающие на горизонтальную позицию оси растяжения (см. рис. 9Б). При увеличении раздвиговой составляющей смещений вдоль сбросов формируются кластические дайки мощностью до 0.5 м (см. рис. 9Г).

Амплитуды смещений вдоль сбросов достигают многих десятков метров. Принципиально важный случай проявления амплитудного сброса представлен на рис. 9В. Здесь нарушение этого типа срезает слабо дислоцированные осадки татарского яруса и контролирует южный борт крупного грабена, заполненного нижнеюрскими коптогенными брекчиями (см. рис. 9В). Главный сброс опирается вторичными сколами со сбросовой кинематикой R и R' типов, которые не проникают в хаотичные комплексы юры. Позиция этой грабен-структуры соответствует радиальной системе нарушений ПК кратера (см. рис. 8Б). Все это указывает на генетическую связь рассматриваемых структур с раннеюрскими импактными событиями.

Таким образом, для данного этапа деформаций отмечается следующий парагенез структур: кратерная кольцевая воронка и обрамляющая ее терраса, центральное поднятие Воротиловского выступа и опоясывающие его концентрические системы валов (структуры сжатия), а также сбросы и грабены (структуры растяжения), образующие радиально-лучистую систему нарушений в пределах кольцевой террасы (см. рис. 8Б).

Данный структурный парагенез неразрывно связан с коптогенным нижнеюрским комплексом. В западном борту ПК структуры импактные брекчии характеризуются хаотичным строением: разновеликие глыбы и плиты пермо-триасовых пород беспорядочно сгружены в щебенчато-глинистый маловязкий матрикс, образуя мегапудинговую текстуру (см. рис. 9В, 9Д). Слоистость в пределах коптогенной толщи не выражена, но иногда проявляется вторичная псевдослоистость. Отмечаются признаки ранней (до формирования брекчий) складчатости. Например, в некоторых глыбах первичная слоистость осложнена мелкими складками, срезанными неправильными гранями глыбового тела (см. рис. 9Д). Встречаются глыбы

**Рис. 8.** Схемы, иллюстрирующие соотношения структурных парагенезов Пучеж-Катунской структуры (основа по [10, 12]). А – субконформные структурные парагенезы раннего этапа ( $D_{1-2}$ ) и поздней стадии деформаций ( $D_4$ ). Б – импактные структурные парагенезы стадии  $D_3$ . Местоположение см. рис. 3Б.

На А. 1–3 – отложения: 1 – верхней перми, 2 – мезозоя, 3 – нижней юры (коптогенные брекчии); 4 – изогипсы подошвы заполняющих впадин озерных отложений средней юры; 5 – внешние контуры кольцевой депрессии; 6 – валлообразные структуры; 7 – сдвиги и направления перемещений; 8 – взбросы и надвиги; 9 – линейность удлинения; 10, 11 – номера пикетов и установленная в них субгоризонтальная позиция главных осей деформации ранних ( $D_{1-2}$ ) и поздних ( $D_4$ ) стадий: 10 – оси сжатия, 11 – осей сжатия и растяжения. На Б. 12 – центральные области радиальных трогов; 13 – изогипсы подошвы коптогенных брекчий, включая “мегаблоковые брекчии”; 14 – номера пикетов и установленная в них субгоризонтальная позиция оси растяжения стадии  $D_3$ . Стереографические проекции (нижняя полу-сфера) полюсов нарушений с векторами перемещения висячего крыла: на А – для ранних структур ( $D_{1-2}$ ); на Б – для импактных структур ( $D_3$ ). Условные обозначения см. рис. 5



плотно сцементированных брекчий, что в целом представляет структуру типа “брекчия в брекчий”.

На основании кинематического анализа сбросо-раздвиговых структур ( $D_3$ ) в районе Горьковского водохранилища было установлено плавное изменение ориентировки оси растяжения от СЗ до ССВ направления по мере огибания ПК депрессии с юга на север (см. рис. 8Б, диаграммы). Такой радиально-концентрический характер распределения палеонапряжений хорошо согласуется с позицией эпицентра импактного кратера и радиальной системой грабенообразных провалов (см. рис. 8Б).

**Структурные парагенезы четвертой генерации ( $D_4$ )** представлены малоамплитудными взбросами, взбросо-сдвигами и надвигами, а также различными мезоструктурами. В пермских и триасовых отложениях разрывы данной генерации секут и смещают импактные структуры ( $D_3$ ) – сбросы и кластические дайки (см. рис. 9В, 9Г, 5). В коптогенной толще юры деформации этой стадии проявлены вдоль локальных зон. Они выражены в проявлении процессов вращения небольших глыб. Мелкие обломки глинистого состава приобретают при этом сигмообразную форму с соответствующим внутренним расщеплением (см. рис. 9Д). Встречаются структуры снежного кома, появляются признаки линейной ориентировки обломков.

Ротационным преобразованиям сопутствует проявление малоамплитудных надвиговых, взбросовых и сдвиговых нарушений. Вдоль поверхностей взбросов и надвигов проявляются мелкие асимметричные приразломные складки, сминающие псевдослоистость (см. рис. 9В, 9Д). Амплитуды смещений, обычно, не превышают первых метров. Отмечаются зоны сгущения взбросо-надвиговых структур, в которых коптогенные образования приобретают облик тектонического меланжа.

Статистический анализ структур скольжения для нарушений, осложняющих коптогенные брекчии, показывает, что они формировались в условиях горизонтального сжатия в направлении ССЗ–ЮЮВ (рис. 10, диаграммы III–VI). Аналогичная позиция оси сжатия была отмечена в осадках триаса (см. рис. 10, диаграммы I–II).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выявленные в обрамлении ПК депрессии структурные парагенезы имеют признаки дли-

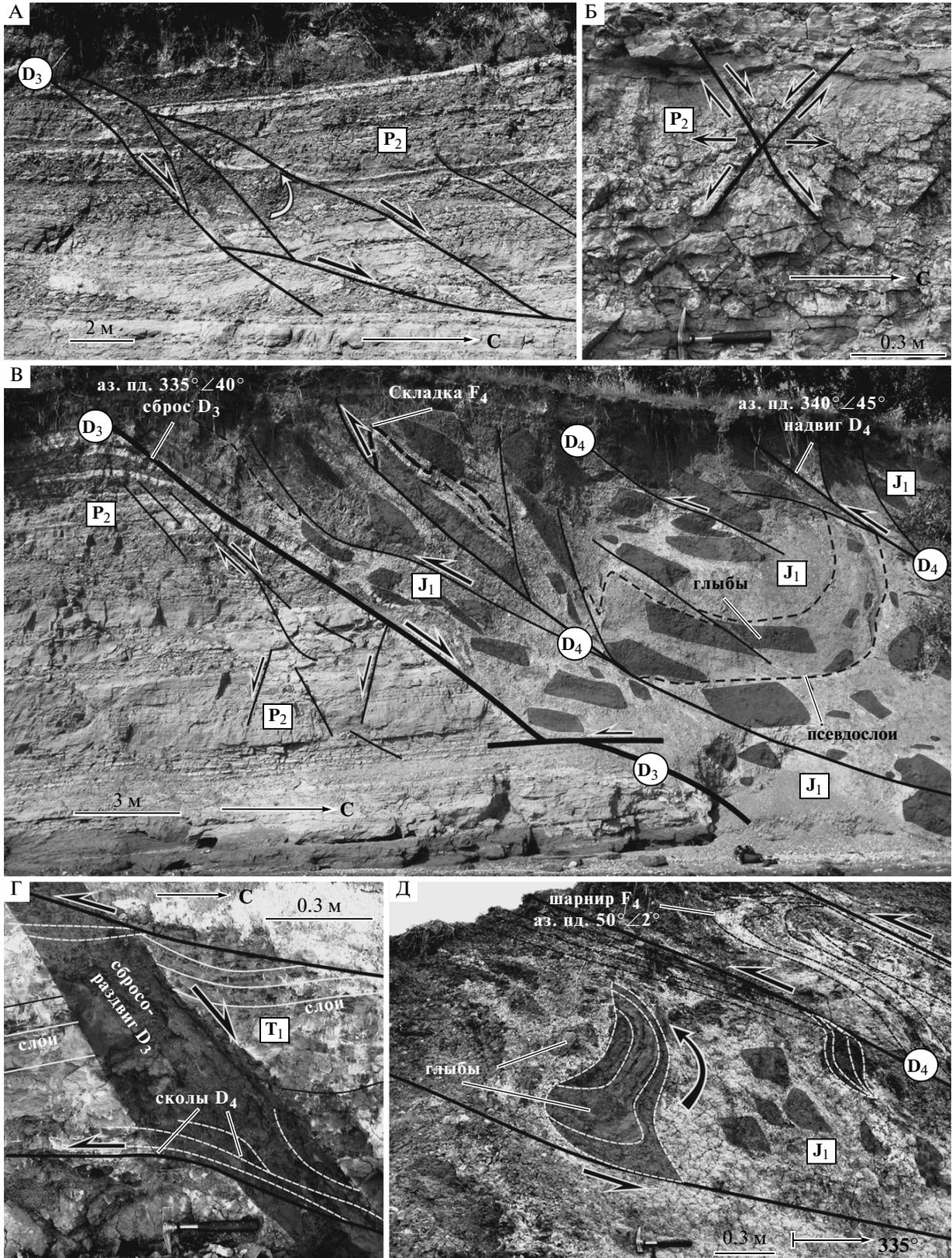
тельного формирования в связи с проявлением четырех стадий деформаций, связанных с различными факторами.

**Ранние стадии деформаций ( $D_{1-2}$ )** проявились в условиях горизонтального сжатия. На первой стадии ( $D_1$ ) произошло формирование покровно-складчатых структур с надвиганием масс к ЮЮВ; на второй ( $D_2$ ) – в условиях транспрессии (сдвиг + сжатие) сформировались дивергентно-построенные пальмообразные структуры. Оси горизонтального сжатия этих стадий деформаций почти коаксиальны и ориентированы преимущественно в направлении ССЗ–ЮЮВ (см. рис. 8А, диаграммы). Это не согласуется (примерно на  $90^\circ$ ) с позицией палеонапряжений, связанных с прохождением предполагаемой ударной волны от эпицентра ПК кратера. Все это свидетельствует о независимом проявлении ранних деформаций ( $D_{1-2}$ ) и наложенных на них импактных преобразований ( $D_3$ ).

Судя по результатам бурения, тектонические структуры этих стадий пронизывают осадки чехла от основания (отложения венда) до отложений верхней перми и проникают в архейский фундамент (см. рис. 4В). Остается неясным, участвуют ли в этих дислокациях осадки нижнего триаса, но образования нижней юры по отношению к этим деформациям являются “запечатывающим” комплексом. Таким образом, тектонический этап горизонтального сжатия ( $D_{1-2}$ ) проявился в послепермское время. Нижнеюрские коптогенные образования (возможно, нижнетриасовые) являются верхним возрастным пределом этих деформаций, которые в целом могут рассматриваться как проявления герцинского тектонического этапа.

**Третья стадия деформаций ( $D_3$ )** связана с раннеюрскими импактными событиями. Вероятно, в результате падения метеоритного тела сформировалась кратерная кольцевая воронка, обрамляющая ее терраса, центральное поднятие Воротиловского выступа и система радиально-концентрических нарушений (см. рис. 8Б). Изотопный (К-Аг) возраст сформировавшихся при этом коптогенных образований позволяет соотнести данное катастрофическое событие с интервалом времени 200–183 млн лет [10]. Возраст перекрывающих коптогенные брекчии отложений соответствует средней юре (байосский – батский века). Однако, на основании того, что коптогенные брекчии содержат споро-пыльцевые комплексы байосского яруса, в работе [10] делается вывод, что импактное событие произошло в байосе

**Рис. 9.** Фотографии структур дислоцированных толщ перми, триаса и нижней юры (Горьковское вдхр.). А – антитетические листрические сбросы (вращение блоков – белая стрелка) стадии  $D_3$ . Б – системы сопряженных Х-образных сколов стадии  $D_3$ . В – сброс ( $D_3$ ), срезающий толщу верхней перми и контролирующей южный борт грабена, заполненного коптогенными брекчиями ( $J_3$ ), которые пронизаны малоамплитудными надвигами ( $D_4$ ). Г – кластическая дайка (сбросо-раздвиг  $D_3$ ) в осадках нижнего триаса, нарушенная сколами стадии  $D_4$ . Д – коптогенные брекчии нижней юры, дислоцированные (вращение блоков, малоамплитудные надвиги, приразломные минискладки) на стадии  $D_4$ . Пояснения знаков см. рис. 5



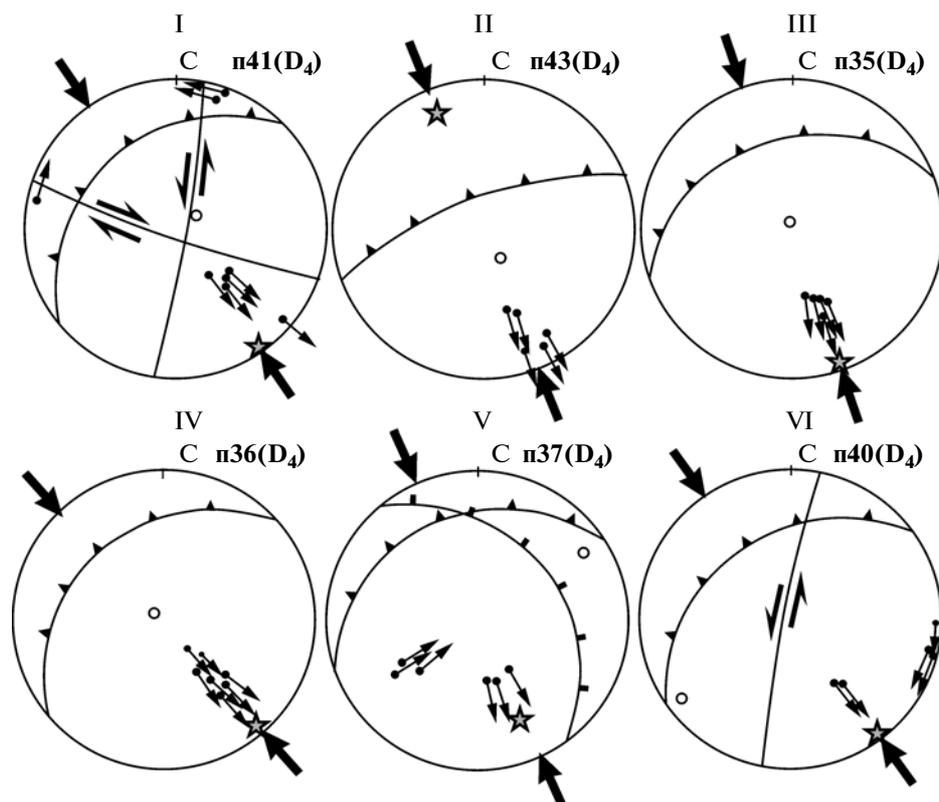


Рис. 10. Стереографические проекции (нижняя полусфера) полюсов нарушений с векторами перемещения висячего крыла для поздней стадии деформаций  $D_4$ : I–II – в отложениях триаса, III–VI – в коптогенных брекчиях нижней юры. Местоположение пикетов п35–п43 см. рис. 8А. Условные обозначения см. рис. 5В

(164–170 млн лет). При этом предполагается, что микроспоры проникли в глубокие горизонты совместно с водами из импактной воронки. Но все это можно объяснить и более поздней миграцией грунтовых и гидротермальных растворов вдоль активизированной системы разрывов. Байосский возраст импактной катастрофы опровергают данные, свидетельствующие об отсутствии массовых вымираний организмов в это время [38]. Поэтому, на данный момент логичнее опираться на К–Аг изотопный возраст ПК импактной структуры.

**Четвертая стадия деформаций ( $D_4$ )** проявилась после импактного события в качестве процессов реактивизации ранних разрывов ( $D_{1-2}$ ). Наблюдениями отмечены небольшие амплитуды смещений (первые метры) вдоль взбросо-надвиговых и сдвиговых нарушений в коптогенных брекчиях нижней юры. Ввиду малых амплитуд смещений и коаксиального характера деформаций стадий  $D_{1-2}$  и  $D_4$ , в осадках перми данные структуры идентифицируются не четко.

Структурные парагенезы, аналогичные структурам данной стадии ( $D_4$ ), были отмечены в пределах Владимирско-Вятской (ВВ) зоны в отложениях нижнего триаса и келловейского яруса верхней юры в долинах рек Ветлуги и Унжи. Отмечаются признаки подновления процессов

воздымания Воротиловского выступа фундамента в конце мезозоя или более позднее время, что подчеркивается куполообразным выступом среднеюрских отложений из-под осадков нижнего мела в центре ПК структуры (см. рис. 4б, в). Таким образом, нижним возрастным пределом данной стадии деформаций является позднемезозойское время. Учитывая то, что ВВ зона хорошо дешифрируется и проявлена в особенностях современного рельефа, можно предположить ее некоторую активизацию и на неотектоническом этапе развития, что согласуется с последними данными М.Л. Коппа [22] для смежной Вятско-Казанской зоны дислокаций.

Кинематический анализ структур данной стадии ( $D_4$ ), показывает, что они формировались в условиях горизонтального сжатия, ориентированного преимущественно в направлении ССЗ–ЮЮВ (см. рис. 10). Причем, эта тенденция с небольшими вариациями соблюдается на всем протяжении ВВ зоны. Примерно в тех же динамических условиях развивались ранние складчато-надвиговые структуры ( $D_{1-2}$ ). По результатам замеров обрушений в стенках ствола Воротиловской скважины установлена позиция оси современного напряжения максимального горизонтального сжатия в направлении СЗ–ЮВ ( $N 137^\circ E \pm 15^\circ$ ) [36]. Это согласуется с полученными кинематическими

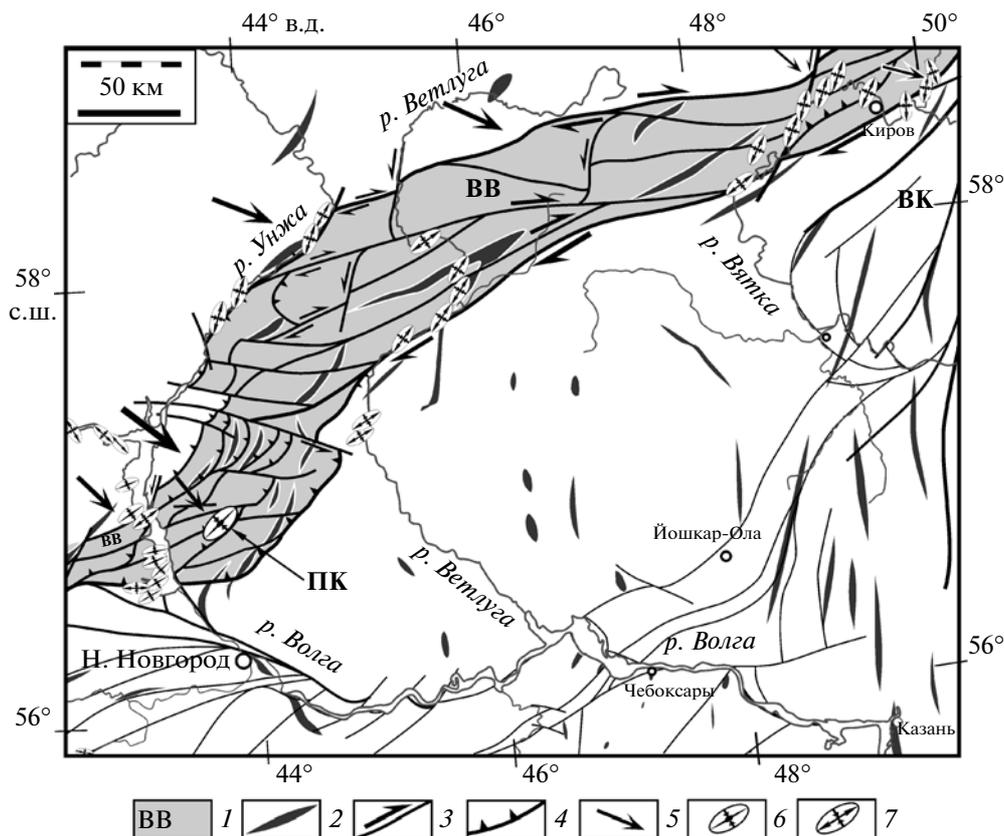


Рис. 11. Структурно-кинематическая схема Владимирско-Вятской зоны

1 – Владимирско-Вятская зона; 2 – валообразные структуры; 3, 4 – зоны нарушений: 3 – сдвиги, 4 – взбросы и надвиги; 5 – предполагаемые направления горизонтального перемещения; 6, 7 – установленная наблюдениями субгоризонтальная позиция главных осей деформации ранних ( $D_{1-2}$ ) и поздних ( $D_4$ ) стадий: 6 – оси сжатия, 7 – осей сжатия и растяжения. Буквы на схеме см. рис. 3

данными и служит косвенным признаком связи структур данной стадии деформаций ( $D_4$ ) с неотектоническими процессами.

**Динамические интерпретации.** Пучеж-Катунская (ПК) структура приурочена к крупной Владимирско-Вятской (ВВ) зоне дислокаций. Последняя обнаруживает признаки длительного развития и периодической активности, начиная от этапа формирования Среднерусского коллизонного пояса в палеопротерозое, а также в процессе герцинского, киммерийского или, вероятно, киммерийско-альпийского тектонических циклов. Суперпозиционные (наложенные друг на друга) структурные парагенезы герцинского ( $D_{1-2}$ ) и киммерийско-альпийского ( $D_4$ ) этапов деформаций в пределах ВВ зоны формировались в сходных динамических условиях. Это, видимо, свидетельствует о проявлении чрезвычайно длительного тектонического мегацикла, который периодически проявлялся в пределах данного сегмента ВВП.

При протяженности более 600 км ВВ зона имеет неоднородное строение. На ЮЗ в пределах ПК сегмента данная зона образует сигмообразный

изгиб (сдвиговый дуплекс сжатия) и отличается наиболее интенсивными складчато-разрывными дислокациями, связанными с транспрессией (рис. 11). По направлению к СВ транспрессионный сегмент сменяется системой рассредоточенных сдвиговых дислокаций. Это подчеркивается закономерным сочетанием магистральных и диагональных разрывов второго порядка, ориентированных по принципу синтетических (R) и антитетических (R') сколов, а также диагональной позицией тектонических валов (см. рис. 11). Этот правосдвиговой структурный рисунок согласуется с данными мезоструктурных наблюдений. Кинематический анализ нарушений данного сегмента зоны показывает, что деформации здесь развивались в условиях сжатия по направлениям СЗ–ЮВ и ССЗ–ЮЮВ, что соответствует правостороннему характеру смещений вдоль ВВ зоны (см. рис. 11).

В целом ВВ зона протягивается субпараллельно Среднерусской зоне дислокаций, развитой в 200 км к северу (см. рис. 1). Вероятно, она участвует вместе с ней в единой динамической системе горизонтальных перемещений, направленных к ЮВ, что рассматривается в [17–20]. Можно пола-

гать, что ВВ зона также динамически сопряжена с зоной Вятско-Казанских нарушений, с которой она сливается на СЗ (см. рис. 11).

ПК импактная структура приурочена к области наиболее интенсивных деформаций транспрессионного сегмента ВВ зоны (см. рис. 11). Такое “прицельное” попадание метеоритного тела не просто в тектоническую зону, разделяющую крупнейшие структуры ВЕП, но и в ее самый динамически напряженный сегмент, выглядит фантастическим и маловероятным. Нужно отметить, что такая тектоническая приуроченность свойственна многим “астрооблемам” [29]. В частности, в центральной части ВЕП такими “астрооблемами” являются Калужская и Карлинская структуры. Тем не менее, имеющиеся на данный момент материалы, не позволяют отказаться от метеоритной гипотезы происхождения ПК структуры. Оценки амплитуд импактного воздействия (до 50 ГПа) и закономерное их снижение с глубиной сложно связать с эндогенными процессами [10]. Однако такие попытки предпринимаются. В частности, привлекается модель приповерхностного плазменного взрыва, мощность которого может быть велика, а размещение в напряженном сегменте тектонической зоны – вполне закономерно [12].

### ВЫВОДЫ

1. Пучеж-Катунская структура в целом является следствием длительного проявления тектонических процессов в пределах одной из крупнейших зон дислокаций ВЕП и, возможно, случайного импактного события, “поразившего” один из самых тектонически напряженных сегментов этой зоны. На данный момент нельзя отрицать метеоритный фактор в развитии ПК структуры, но следует также принимать во внимание гипотезы о приповерхностном плазменном взрыве.

2. В развитии ПК структуры обособлено четыре стадии деформаций: 1) покровно-складчатые дислокации и 2) транспрессионные деформации герцинского этапа; 3) импактное формирование кратерной воронки и системы радиально-концентрических нарушений в ранней юре (200–183 млн лет); 4) малоамплитудная тектоническая активизация разрывных структур герцинского этапа, имевшая место на киммерийско-альпийском этапе развития.

3. Владимирско-Вятская зона, контролирующая ПК структуру, представляет собой долгоживущую зону дислокаций с преимущественно праводвиговым характером перемещений на плитном этапе ее развития. Эволюция зоны проходила циклично, начиная с коллизионных событий палеопротерозоя, вплоть до киммерийско-альпийского этапа активизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-00298) и Программы ОНЗ № 10.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архангельский А.Д.* О строении Русской платформы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1940. Т. 18. Вып. 3/4. С. 5–39.
2. *Бронзулеев В.В.* Мелкая складчатость платформы. Вып. 14 (18). М.: изд. МОИП, “Нов. сер.”, 1951. 151 с.
3. *Валеев Р.Н.* Тектоника Волго-Камского междуречья. М.: Недра, 1968. 117 с. (Тр. геологического института г. Казани; Вып. 12).
4. *Валеев Р.Н.* Восточно-Европейская платформа // Разломы и горизонтальные движения платформенных областей СССР. М.: Наука, 1977. С. 48–64.
5. *Валеев Р.Н.* Авлакогены Восточно-Европейской платформы. М.: Недра, 1978. 152 с.
6. *Варданянц Л.А.* Трубка взрыва в центральной части Русской платформы // Изв. АН АрмССР. 1961. Т. 14. № 2. С. 57–62.
7. *Геология СССР. Т. XI. Поволжье и Прикамье. Ч.1. геологическое описание /* Ред. К.Р. Чепиков. 1967. 872 с.
8. Гипсометрическая карта поверхности кристаллического фундамента центральной и северной частей Восточно-Европейской платформы. Масштаб 1 : 2500000 / Гл. ред. В.П. Орлов, Д.Л. Федоров. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001.
9. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС: В 2 т. / Ред. А.Ф. Морозов. М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС, 2010. Т. 2. 400 с.
10. Глубокое бурение в Пучеж-Катунской импактной структуре / Ред. В.Л. Масайтис, Л.А. Певзнер. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 599 с.
11. *Горецкий Г.И.* К познанию природы Пучежско-Балхнинских дислокаций (о проявлениях иньективной тектоники на Русской платформе) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1962. Т. 37. № 5. С. 80–110.
12. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1000000 (Н.С.). Лист О-37, (38). Нижний Новгород. Объяснительная записка / Гл. ред. Кириков В.П. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 261 с.
13. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1000000 (Н.С.). Лист О-38, (39). Киров. Объяснительная записка / Гл. ред. Кириков В.П. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 331 с.
14. *Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т.* Структурная геология юго-востока Восточно-Европейской платформы. Уфа: Гилем, 2001. 234 с.
15. *Камалетдинов М.А., Степанов В.А., Жуков И.М и др.* Шарьяжно-надвиговая тектоника Волго-Уральской области. М.: Наука, 1990. 149 с.
16. *Колодяжный С.Ю.* Структурно-кинематическая эволюция юго-восточной части Балтийского щита в палеопротерозое. М.: ГЕОС, 2006. 332 с.
17. *Колодяжный С.Ю.* Структурно-кинематические парагенезы в осадках фанерозойского чехла Среднерусской зоны дислокаций // Геотектоника. 2010. № 2. С. 56–76.
18. *Колодяжный С.Ю.* Структуры латерального течения северо-восточной части Восточно Европейской платформы. Статья 1: особенности геологического строения, структурные парагенезы фундамента // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2012. Т. 87. Вып. 1. С. 15–24.

19. Колодяжный С.Ю. Структуры латерального течения северо-восточной части Восточно-Европейской платформы. Статья 2: структурные парагенезы осадочного чехла // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2012. Т. 87. Вып. 2. С. 3–16.
20. Колодяжный С.Ю., Зыков Д.С., Леонов М.Г. Структурно-кинематические парагенезы фундамента и чехла юго-восточной окраины Балтийского щита // Геотектоника. 2007. № 6. С. 3–22.
21. Копп М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2005. 340 с.
22. Копп М.Л. Вятские дислокации: динамика формирования и выражение в новейшей структуре (Восточно-Европейская платформа) // Геотектоника. 2012. № 6. С. 55–77.
23. Лобов В.А., Кавеев И.Х. О некоторых аспектах изучения надвиговых дислокаций в Волго-Уральской провинции // Геология, разработка нефтяных месторождений, физика и гидродинамика пласта. Казань, 1975. С. 27–33.
24. Лукьянов А.В. Структурные проявления горизонтальных движений земной коры. М.: Наука, 1965. 212 с.
25. Маракушев А.А., Богатырев О.С., Феногенов А.Д. и др. Формирование Пучеж-Катуньской кольцевой структуры на Русской платформе // ДАН. 1993. Т. 328. № 3. С. 364–368.
26. Милановский Е.В. Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. М.: Гостехиздат, 1940. 276 с.
27. Милановский Е.Е. Геология СССР. Ч. 1. Древние платформы и метаплатформенные области. М.: Изд-во МГУ, 1987. 416 с.
28. Нечитайло С.К., Веселовская М.М., Скворцова Е.Н. Материалы по геологии Городецко-Ковернинской тектонической зоны. М.: Гостехиздат, 1959. 128 с.
29. Песков Е.Г. Пояса взрывных структур (“астроблем”) // Геотектоника. 1992. № 5. С. 20–26.
30. Соловьев В.К. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 1 000 000. Лис. О-38 (Горький). М.: Гостехиздат, 1958. 112 с.
31. Структурная карта кровли верейского горизонта московского яруса среднего отдела каменноугольной системы Восточно-Европейской платформы / Гл. ред. В.В. Бронгулеев. М.: Недра, 1986.
32. Трофимов В.А. Структуры горизонтального сжатия на территории Татарстана и северной части Оренбургской области // ДАН. 1993. Т. 329. № 4. С. 476–479.
33. Туманов Р.Р. Новые данные о строении Городецко-Ковернинской тектонической зоны // Материалы по геологии востока Русской платформы. Вып. 5. Казань: Изд-во КазГУ, 1973. С. 112–125.
34. Фирсов Л.В. О метеоритном происхождении Пучеж-Катуньского кратера // Геотектоника. 1965. № 2. С. 106–118.
35. Чувардинский В.Г. Четвертичный период. Новая геологическая концепция. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2012. 179 с.
36. Huber K., Fuchs K., Palmer J. et al. Analysis of borehole televiewer measurements in the Vorotilov drillhole, Russia – first results // Tectonophysics. 1997. Vol. 275. Is. 1–3. P. 261–272.
37. Marrett R.A., Allmendinger R.W. Kinematic analysis of fault-slip data // Journal of Structural Geology. 1990. Vol. 12. P. 973–986.
38. Palfy J. Did the Puchezh-Katunki impact trigger an extinction? / Н. Dypvik (eds). Cratering in marine. Environments and on ice. Berlin: Springer, 2004. P. 135–148.

Рецензенты: Т.Н. Хераскова, М.А. Гончаров

## Structural Assemblies of the Vladimir–Vyatka Dislocation Zone and the Position of the Puchezh–Katunki Crater, East European Platform

S. Yu. Kolodyazhnyi

*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Pyzhevskii per. 7, Moscow, 119017, Russia*

*e-mail: kolod@ginras.ru*

Received March 11, 2013

**Abstract**—The Puchezh–Katunki (PK) structural unit situated in the Middle Volga region of the central East European Platform (EEP) is expressed as a system of complex dislocations and a meteoritic crater with a central uplift. Based on the results of structural study, the attributes of its long evolution have been revealed. Four deformation stages have been established: (1) fold–nappe, (2) Hercynian transpressional deformations, (3) formation of the Early Jurassic impact crater and the related system of radial–concentric faults, and (4) low-amplitude tectonic reactivation of Hercynian faults during the Kimmerian–Alpine stage of evolution. In general, the PK structural unit is localized in the most strained segment of the Vladimir–Vyatka Dislocation Zone, which separates the largest structural domains of the EEP. This is a long-lived zone, which developed cyclically beginning from Paleoproterozoic collisional events and up to the Kimmerian–Alpine stage of reactivation. Such a direct hit to the cluster of concentrated deformations in one of the largest tectonic zones of the EEP seems unlikely. Nevertheless, available evidence, including the estimated pressure of the impact effect (up to 50 GPa) and its decrease with depth, does rule out the meteoritic origin of the PK structural unit.

**Keywords:** within-plate dislocation zone, structural assembly, impact structure