

Российская академия наук
Отделение наук о Земле
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Геологический институт Российской академии наук



Russian Academy of Sciences
Department of Earth Sciences
Geological Institute of the Russian Academy of Sciences



Transactions of the Geological Institute

Founded in 1932

Vol. 610

**M.L. Kopp, V.E. Verzhbitsky, A.A. Kolesnichenko,
T.Yu. Tveritina, N.Yu. Vasil'ev, V.A. Korchemagin,
N.V. Makarova, A.O. Mostryukov, A.I. Ioffe**

Cenozoic stress field in the East of the Russian plate, Southern and Middle Urals Methodical, theoretical and applied aspects

Moscow
GEOS
2014

Труды Геологического института

Основаны в 1932 году
Вып. 610

**М.Л. Копп, В.Е. Вержбицкий, А.А. Колесниченко,
Т.Ю. Тверитинова, Н.Ю. Васильев, В.А. Корчемагин,
Н.В. Макарова, А.О. Мострюков, А.И. Иоффе**

Кайнозойские напряжения востока Русской плиты, Южного и Среднего Урала

Методические, теоретические и прикладные аспекты

Москва
ГЕОС
2014

УДК 551.248.2
ББК 26.323
Т 78

Ответственные редакторы:
Ю.Г. Леонов, М.Л. Копп

Редакционная коллегия:
М.А. Федонкин (главный редактор), *Н.П. Чамов* (заместитель главного редактора),
Ю.В. Карякин (ответственный секретарь), *М.А. Ахметьев, Ю.О. Гаврилов, К.Е. Дегтярев,*
В.А. Захаров, В.Б. Курносов, Ю.Г. Леонов, М.А. Семихатов, С.Д. Соколов, М.Д. Хуторской

Рецензенты:
М.Г. Леонов, Н.В. Короновский

Труды Геологического института / Геол. ин-т. — М.: Изд-во АН СССР, 1932–1964. — М.: Наука, 1964. —
ISSN 0002-3272

Т 78

Вып. 610: Кайнозойские напряжения востока Русской плиты, Южного и Среднего Урала: Методические, теоретические и прикладные аспекты / Копп М.Л., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А. и др.; Отв. ред. Ю.Г. Леонов, М.Л. Копп. — М.: ГЕОС, 2014. — 88 с. + 1,2 печ. л. цв. вкладок; ил.
ISBN 978-5-89118-681-1

Представляется картографическая реконструкция кайнозойского поля напряжений востока Русской плиты и Урала, выполненная впервые на основе компьютеризированного анализа обширного массива замеров мезоструктурных кинематических индикаторов. Пространственные вариации этого поля отражают давление на платформенную литосферу стрессов, исходящих от южной коллизионной границы Евразийской литосферной плиты. При прохождении через неоднородную кору платформы эти напряжения искажались: в вертикальном разрезе сжатие снижалось вверх и даже замещалось растяжением над растущими козырьками надвигов, а в плановой проекции — сжатие, особенно в сдвиговом режиме, возрастало на поднятиях фундамента; около же синеклиз, напротив, усиливались растяжение и направленное к ним латеральное выжимание масс по сдвигам. Итоги реконструкции, сделанной на основе данных разного масштаба и типа, не противоречат, но дополняют друг друга. Результаты работы свидетельствуют о перспективности тектодинамического анализа при решении регионально-тектонических и прикладных задач платформенной тектоники.

Для широкого круга специалистов в области региональной геологии и тектоники.

ББК 26.323

Публикуется при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований № 6 ОНЗ РАН

Responsible Editor
Yu.G. Leonov, M.L. Kopp

Editorial Board:
M.A. Fedonkin (Editor-in-Chief), *N.P. Chamov* (Deputy Editor-in-Chief),
Yu.V. Kariakin (Executive Secretary), *M.A. Akhmetiev, Yu.O. Gavrilov, K.E. Degtyarev,*
V.A. Zaharov, V.B. Kurnosov, Yu.G. Leonov, M.A. Semikhatov, S.D. Sokolov, M.D. Khutorskoy

Reviewers:
M.G. Leonov, N.V. Koronovskiy

Transactions of the Geological Institute / Geological Inst. — Moscow: Publishers of the USSR Academy of Sciences, 1932–1964. — Moscow: Nauka, 1964. — ISSN 0002-3272

Vol. 610: Cenozoic stress field in the East of the Russian plate, Southern and Middle Urals: Methodical, theoretical and applied aspects / Kopp M.L., Verzhbitsky V.E., Kolesnichenko A.A. et al.; Ed by Yu.G. Leonov, M.L. Kopp. — Moscow: GEOS, 2014. — 88 p. + 1,2 sh. color insert; ill.
ISBN 978-5-89118-681-1

These monograph presents the first cartographic reconstruction of the Cenozoic stress field for the southern Russian plate and Urals based on computer analysis of the extensive body of measurements of mesostructural kinematic indicators. Spatial variations of the stress field reflect the pressure on the platform body from the southern collisional margin of the Eurasian lithospheric plate. When passing through the heterogeneous crust of the platform, the collision stresses were distorted: in the vertical section, compression decreased upward; in plan view, compression (especially in the strike-slip stress regime) increased at basement uplifts; on the contrary, extension increased near synclises, as well as lateral escape directed here along strike-slip faults. Results of study indicate that tectono-dynamic analysis is promising for solving regional tectonic and applied problems of the platform tectonics.

For a wide range of specialists in regional geology and tectonics.

© Авторы, 2014
© ГИН РАН, 2014
© ГЕОС, 2014

ISBN 978-5-89118-681-1

Содержание

Введение (<i>М.Л. Копн</i>)	7
Кайнозойские напряжения по макроструктурным данным (<i>М.Л. Копн, А.А. Колесниченко</i>)	15
Особенности методики анализа мезоструктурных данных	31
Вводные замечания (<i>М.Л. Копн</i>)	31
Компьютерный анализ (<i>Н.Ю. Васильев, А.О. Мострюков</i>)	32
Геологический возраст кинематических индикаторов (<i>М.Л. Копн</i>)	33
Итоговые картографические материалы (<i>М.Л. Копн</i>)	44
Кайнозойские напряжения по мезоструктурным данным	45
Результаты наблюдений по разным тектоническим регионам (<i>Н.Ю. Васильев, В.Е. Вержбицкий, В.А. Корчемагин, А.А. Колесниченко, М.Л. Копн, Т.Ю. Тверитинова</i>)	45
Сопоставление макро- и мезоструктурных данных: главные параметры кайнозойского поля напряжений (<i>М.Л. Копн</i>)	55
Плиоцен-четвертичные напряжения по данным анализа рельефа	61
Основные методические положения (<i>М.Л. Копн</i>)	61
Результаты тектодинамического анализа рельефа (<i>М.Л. Копн, А.А. Колесниченко, Н.В. Макарова, А.И. Иоффе, А.О. Мострюков</i>)	68
Некоторые выводы и предположения (<i>М.Л. Копн</i>)	77
Заключение и некоторые прикладные аспекты (<i>М.Л. Копн</i>)	79
Summary	83
Литература	84

Content

Introduction (<i>M.L. Kopp</i>)	7
Cenozoic stresses deduced from macrostructural data (<i>M.L. Kopp, A.A. Kolesnichenko</i>)	15
Techniques of mesostructural data analysis	31
Introductory remarks (<i>M.L. Kopp</i>)	31
Main features of computer analysis (<i>N.Yu. Vasil'ev, A.O. Mostryukov</i>)	32
Geological age of kinematic indicators (<i>M.L. Kopp</i>)	33
Final cartographic materials (<i>M.L. Kopp</i>)	44
Cenozoic stresses based on mesostructural data	45
Results of observations in different tectonic domains (<i>N.Yu. Vasil'ev, V.E. Verzhbitsky, V.A. Korchemagin, A.A. Kolesnichenko, M.L. Kopp, T.Yu. Tveritinova</i>)	45
Comparison of the macro- and mesostructural evidence on general parameters of the stress field (<i>M.L. Kopp</i>)	55
Pliocene-quaternary stress field from morphostructural evidence	61
Basic methodic remarks (<i>M.L. Kopp</i>)	61
Results of tectono-dynamic relief analysis (<i>M.L. Kopp, A.A. Kolesnichenko, N.V. Makarova, A.I. Ioffe, A.O. Mostryukov</i>)	68
Some conclusions and suppositions (<i>M.L. Kopp</i>)	77
General conclusions and some practical implications (<i>M.L. Kopp</i>)	79
Summary	83
References	84

Введение

Рассматриваемая платформенная территория отличается исключительной кайнозойской (главным образом, неотектонической) активностью — по сравнению не только с более западными частями Восточно-Европейской докембрийской платформы, но и с герцинской платформой Западной Европы. Предмет исследования — почти не изучавшаяся прежде динамика формирования этих молодых внутриплатформенных дислокаций (рис. 1). Будучи представлены пучками валов (иногда со взбросами в ядре), эти структуры невелики по амплитуде: наклон слоев редко превышает 10–20°. Однако именно эти мягкие деформации образовали почти весь расчлененный рельеф Русской равнины и Урала и оказались ответственными за достройку или даже новообразование современной структуры многих нефтяных и соляных месторождений. Они же определяют зоны разгрузки подземных вод и контролируют участки локально проявляющейся сейсмичности (иногда с магнитудой до 5). Помимо аспектов практического плана, присутствует и более общий интерес, касающийся принципиальных вопросов геологического развития и динамики формирования платформенных неоструктур и прежде всего обстановки и причин их возникновения.

Между тем, несмотря на высокую в целом изученность строения и истории развития рассматриваемых дислокаций методами геологической съемки, бурения и геофизики, природа этих структур до сих пор вызывает активные дискуссии.

Так, до сих пор не выработаны общепринятые представления даже об их истинном распространении, амплитуде, морфологии и вариациях их возраста (внутри кайнозоя), а также о степени унаследованности от более древних движений. До конца не выяснен их вклад в сум-

марную структуру чехла: одно время дислокации считались незначительными и их вообще не замечали, а затем, напротив, стали приписывать им несправедливо преувеличенное значение. Последнее и сейчас сказывается в том, что на некоторых изданных картах и в публикациях массовость изображения слабо подтвержденных альпийских разрывов сжатия (надвигов и взбросов) иногда выглядит совершенно необоснованной, и непонятно тогда, почему при таком сильном сжатии слои лежат почти горизонтально (во всяком случае, на поверхности).

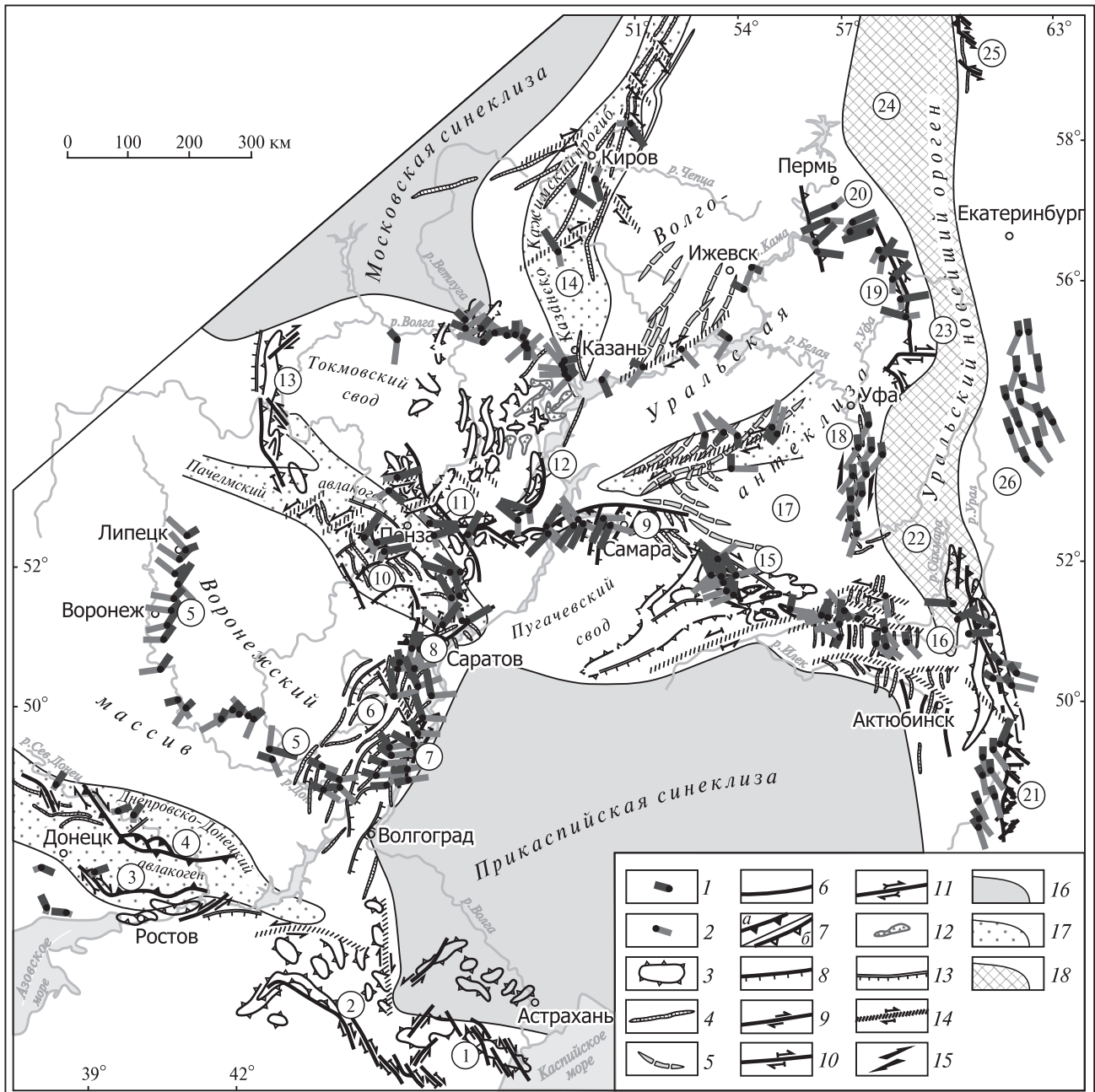
Это, в свою очередь, ставит вопросы о возможных изменениях поля напряжений/деформаций в вертикальном разрезе и о способах их изучения (забегая вперед, отметим, что проявляющаяся в вертикальной плоскости структурная дисгармония находит подтверждение). Далее, повышенное внимание уделяется только надвигам, тогда как геологическая съемка давно показала, что, кроме них, присутствуют также сдвиги и сбросы. Структуры, образовавшиеся при растяжении, часто вообще игнорируются, но, как будет показано далее, растягивающиеся домены занимают не менее обширные площади, нежели сжатые. Тогда возникает естественный вопрос, как это растяжение в конкретных случаях увязать со сжатием.

Особые споры идут по поводу причин происхождения рассматриваемых дислокаций. При почти общем признании определяющей роли горизонтальных движений в их формировании [Гущенко, 1999; Казанцев, Казанцева, 2001; Камалетдинов и др., 1979; Копп, 1997, 2004а, 2005; Корчемагин, Емец, 1987; Леонов, 1995; Леонов и др., 2001; Лёвин, Фомин, 2001; Макаров, 1996; Милановский, 1983; Новейшая тектоника..., 2006; Сим, 1996; Тевелёв, 2003; Nikishin, Brunet et al., 1999; Sim et al., 1999] высказываются разные, а

иногда и полярные, мнения по поводу источников напряжений: исходят ли они от границ литосферных плит и связаны ли с взаимодействием последних или же обязаны действию местных, сугубо внутриплитных, источников.

Предпочтительно все же (и у нас, и за рубежом) рассматриваются так называемые удаленные стрессы (far fields, far stresses), исходящие от активных границ плит. Однако при этом высказываются диаметрально противоположные мнения относительно определения главного источника стрессов: его связывают то с коллизией на южной границе Евразийской плиты [Копп,

1997, 2004a; Леонов, 1995; Леонов и др., 2001; Лёвин, Фомин, 2001; Nikishin, Brunet et al., 1999; Nikishin, Ziegler et al., 1999], то, напротив, с давлением зоны спрединга на севере [Гущенко, 1999; Гущенко и др., 1999; Колодяжный, 2010; Сим, 1996], а иногда привлекают то и другое, вместе взятое, действующее согласованно [Копп, 1999, 2004a]. Допускаемая возможность одновременного взаимодействия разных источников удаленных стрессов предполагает оконтуривание их индивидуальных ареалов и установление принципов диагностики границ полей напряжений разного происхождения.



Однако здесь возникают разногласия: например, для Уральского новейшего орогена в качестве главной причины его активизации либо рассматривается общее давление зоны альпийской коллизии на юге Евразии [Копп, 2005; Лёвин, Фомин, 2001], проявляющееся на всем протяжении Урала, либо допускается действие разных источников стрессов при формировании его отдельных сегментов: для Полярного Урала — зоны спрединга на севере [Сим, 1996; Sim et al., 1999], для Южного Урала — Перииндийской (Центральноазиатской) коллизионной области [Копп, 2005; Тевелёв, 2003] с участием стрессов, исходящих от Периаравийской коллизионной области [Копп, 2005].

В то же время некоторые авторитетные тектонисты и тектонофизики полагают, что передача напряжений на столь большие (более 1000 км) расстояния от границ плит вообще невозможна физически [Короновский, Дёмина, 1999; Ю.Л. Ребецкий (устное сообщение)].

И, наконец, параллельно с горизонтальными движениями и деформациями, связанными с давлением плит, независимо происходили и вертикальные движения. Например, в кайнозой продолжали унаследованно воздыматься крупные щиты и антеклизы, тогда как синеклизы, особенно Прикаспийская, опускались. Подобную унаследованность движений приписывают и ряду частных сводов и впадин внутри Татарского свода [Валеев, 1981; Высоцкий, Кали-

нин, 2000; Государственная геологическая карта..., 1999; и мн. др.].

Факты такого рода ставят естественные вопросы взаимодействия одновременно происходивших в кайнозой горизонтальных движений (вызванных давлением литосферных плит) и вертикальных движений, унаследованных от более ранних эпох, — как они соотносятся и каковы их доли в суммарном структурном рисунке и поле деформаций? Оказывали ли длительно развивавшиеся структуры какое-либо влияние на конфигурацию кайнозойских напряжений и как признаки такого влияния определить в методическом плане?

Влияние Прикаспийской синеклизы на новейшее структурообразование уже подчеркивалось в ряде работ, однако характер и степень этого влияния обсуждаются: в некоторых публикациях синеклиза выступает в качестве самостоятельного фактора, создающего свое поле напряжений [Макаров, 1996; Новейшая тектоника..., 2006], а в других — только как древняя структурная неоднородность, в некоторой степени искажающая поле напряжений, генерируемое в соседних коллизионных орогенах [Копп, 2004а, 2014; Копп, Васильев и др., 2014; Копп, Вержбицкий и др., 2014]. Вопросы такого рода стояли перед нами и при проведении настоящего исследования.

Все вышесказанное наглядно иллюстрирует необходимость знания динамики формирова-

←

Рис. 1. Схематическая карта кайнозойских структур и напряжений востока Русской плиты и Урала

1, 2 — горизонтальные проекции главных нормальных осей эллипсоида напряжений (компьютерная реконструкция по данным структурных наблюдений; наклоны осей к горизонту направлены от точки в центре символа, величина наклона обратно пропорциональна длине штриха): 1 — ось сжатия, 2 — ось растяжения; 3–15 — элементы кайнозойской макроструктуры, содержащие информацию о типе поля напряжений (стресс-режиме): 3–5 — пликативные структуры (3 — контуры линейных мегавалов и брахиморфных поднятий, замкнутых и незамкнутых, 4 — оси линейных валов и антиклиналей, 5 — оси валов неустановленного, но предположительно кайнозойского возраста), 6–14 — дизъюнктивные структуры и флексуры (6–11 — откартированные разрывы, в том числе: 6 — разрывы неустановленной кинематики, 7 — взбросы и надвиги (*a* — установленные, *b* — предполагаемые по мезоструктурным данным), 8 — сбросы, 9–11 — сдвиги, с кинематикой: 9 — доказанной смещениями структур, 10 — предполагаемой по особенностям структурного рисунка, 11 — то же, с подтверждением по мезоструктурным данным), 12 — зоны мелких надвиговых деформаций и брекчирования, 13, 14 — флексуры: 13 — вертикальные (штрихи — по падению смыкающего крыла), 14 — горизонтальные, с кинематикой сдвига, предполагаемой по структурному рисунку); 15 — выделенные по знаку кулисных зоны сдвига с неясными ограничениями; 16–18 — элементы тектонического районирования: 16 — синеклизы, 17 — авлакогены, 18 — Уральский новейший внутриплитный ороген.

Цифры в кружках — кайнозойские структуры: 1 — Промысловско-Цубукский вал; 2 — Сальско-Маньчский мегавал; 3 — Персиановский взброс; 4 — Северодонецкий взброс; 5 — западный и южный борта Окско-Донского новейшего прогиба; 6 — Доно-Медведицкие дислокации; 7 — Балыклейские грабены; 8 — Саратовские дислокации и Елшанско-Сергиевский взброс; 9 — Жигулевские дислокации (мегавал) и одноименный взброс; 10 — Керенско-Чембарские дислокации; 11 — Сурско-Мокшинские дислокации (мегавал); 12 — Борлинский вал; 13 — Окско-Цнинский вал; 14 — Вятские дислокации (мегавал); 15 — новейший свод Общего Сырта; 16 — складчатые дислокации востока Общего Сырта; 17 — выраженное в рельефе Бугульминско-Белебеевское поднятие; 18 — Бельские дислокации Предуральского прогиба; 19 — выраженное в рельефе Уфимское новейшее поднятие и Суксунский разрыв; 20 — выраженное в рельефе Тулвинское поднятие и одноименный разрыв; 21–24 — Уральский новейший внутриплитный ороген, сегменты: 21 — Мугоджарский, 22 — Южноуральский, 23 — Среднеуральский, 24 — Североуральский; 25 — Лозвинские дислокации; 26 — Зауральская новейшая структурная терраса

ния рассматриваемых дислокаций (последняя понимается в прямом физическом смысле — как комплекс сведений о направлении и знаке действующих сил и напряжений). Однако именно она наименее всего изучена — если не считать единичных, но ярких работ на Тимане, в Донбассе и в отдельных местах Московской синеклизы [Гущенко и др., 1999; Корчемагин, Емец, 1987; Сим, 1996; Sim et al., 1999].

Между тем эти пионерские работы показали возможность применения к условиям платформенного чехла известных, разработанных для изучения орогенов, методик динамических исследований, основанных на фиксации ориентировки кинематических индикаторов мезоструктурного масштаба: зеркал и борозд скольжения, жил, стилолитов и т.п. Представительные кинематические индикаторы встречаются здесь повсеместно и, как оказалось, также и в слабоцементированных породах верхнего мезозоя — кайнозоя [Вержбицкий, Копп, 2005; Копп, 2004а, 2005; Копп, Тверитинова, 1999, 2001; Копп и др., 2008]. Статистический анализ массовых замеров таких мезоструктур позволяет точно оценить параметры напряжений: ориентацию и наклон их главных осей, характер стресс-режима (сжатие, растяжение, сдвиг и др.) и его изменений на местности и, по возможности, с глубиной. И, в итоге, — реконструировать на картографической основе суммарную модель траекторий напряжений разного знака.

Поскольку такая общая картина поля кайнозойских напряжений рассматриваемого региона отсутствовала, ее разработка явилась одной из задач проводимых в Геологическом институте РАН (с участием других организаций) исследований, инициированных академиком Ю.Г. Леоновым и продолжавшихся более 15 лет [Гущенко, 1999; Копп, 2004а, 2005; Копп, Тверитинова, 1999; Копп и др., 2000; Леонов и др., 2001; и мн. др.]. Кроме Геологического института, на разных стадиях исследований в них участвовали институты Океанологии и Физики Земли РАН, а также геологический факультет МГУ, Российский государственный геолого-разведочный университет и Донецкий национальный технический университет (Украина).

Рис. 2. Геокинематическая структурная схема Кавказа, Скифской плиты и востока Русской плиты для новейшего этапа развития [Копп, 2004а]

1 — мегаскладки и валы; 2 — взбросы и надвиги; 3 — сдвиги; 4 — сбросы; 5 — направление давления Аравийской плиты; 6 — то же, на участках локальной концентрации давления; 7 — направления латерального выжимания масс; 8 — ориентация горизонтального растяжения

В серии публикаций нами уже были представлены основанные на обобщении собранных нами мезоструктурных данных (инами же проинтерпретированных макроструктурных) решения параметров новейшего поля напряжений, касающиеся Окско-Донского новейшего прогиба, Доно-Медведицких, Жигулевских и Саратовских дислокаций и новейшего свода Общего Сырта. На основе обобщения всей суммы собранных тогда данных были впервые предложены кинематические схемы, показывающие согласованные горизонтальные перемещения платформенных блоков, происходившие в результате коллизионного давления с юга [Копп, 2004а] (рис. 2, 3), и опубликован общий для юга Восточной Европы пилотный вариант карты новейших напряжений (рис. 4); компьютерная обработка данных осуществлялась О.И. Гущенко.

С тех пор прибавился обширный новый материал, касающийся новейших структур Южного и Среднего Урала и Мугоджар, а на Русской плите — Донбасса, Керенско-Чембарских, Сурско-Мокшинских, Вятских дислокаций, а также новейших поднятий Приуралья, и представляемая здесь реконструкция охватывает почти весь центр и восток Русской плиты, а также Южный и Средний Урал вместе с Мугоджарами (см. рис. 1). В ее основе находится собранный за все 15 лет уникальный массив данных, насчитывающий более 12 000 полевых замеров кинематических индикаторов. При этом, что особенно важно для наших целей, их значительная часть собрана в верхне-мезозойских и кайнозойских породах, т.е. эти данные характеризуют кайнозойское поле деформаций, а замеры в породах неогена-квартера напрямую относятся к новейшему этапу.

Наличие всего этого крупного массива материала позволило в данной работе уделить больше внимания важным деталям напряженного состояния: установить тип стресс-режима и его изменений в зависимости от положения в структуре, определить закономерности изменений пространственной ориентации и наклона осей напряжений, а на этой основе — более достоверно выяснить характер связей кайнозойского поля напряжений на платформе с теми или иными событиями на ее границах, приблизительно оконтурить ареалы сфер влияния разных источников напряжений.

⇒



- | | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |

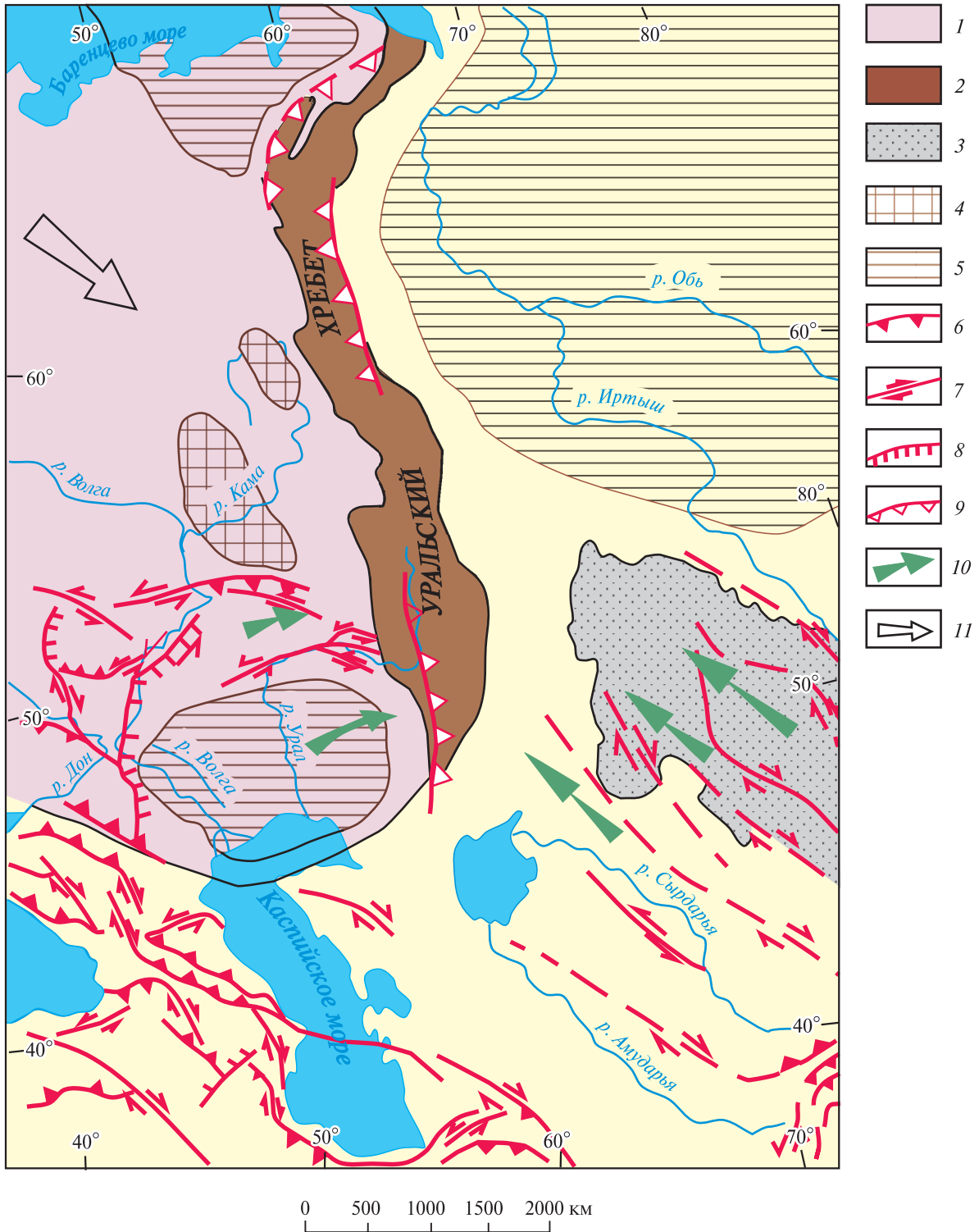


Рис. 3. Позиция новейшего Урала в системе коллизионных структур Периаравийской и Перииндийской коллизионных областей [Копп, 2005]

1 — Восточно-Европейский кратон; 2 — новейший Урал; 3 — Центрально-Казахстанский (Кокчетавский) блок; 4 — антеклизы; 5 — синеклизы; 6 — надвиги и взбросы; 7 — сдвиги; 8 — сбросы; 9 — зоны внутриплитного поддвига участков утоненной коры Русской и Западно-Сибирской плит под новейший Урал; 10 — направления перемещения блоков по отношению к Уральскому новейшему орогену; 11 — направление предполагаемого позднекайнозойского перемещения Восточно-Европейского кратона относительно Сибирской платформы

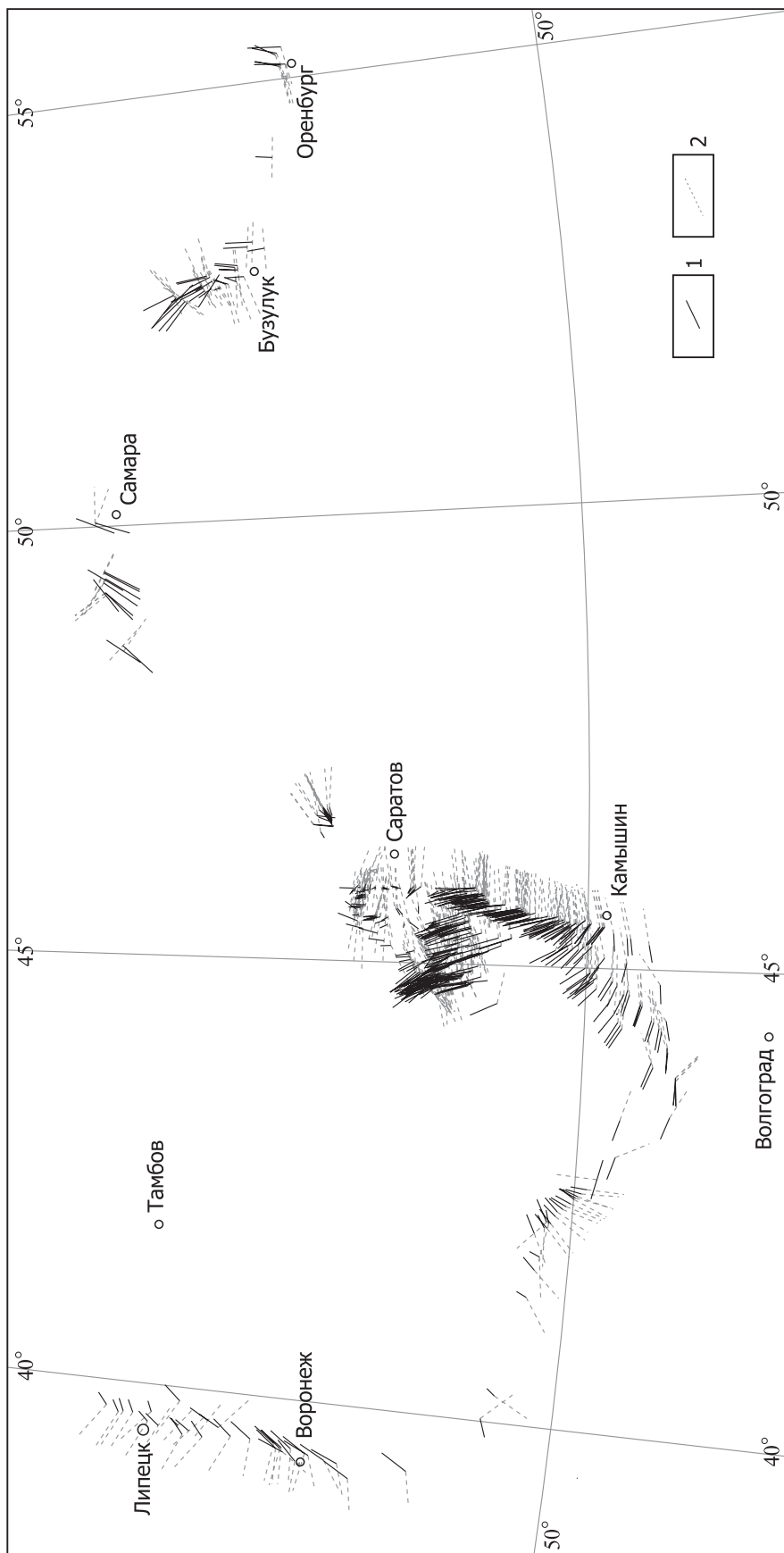


Рис. 4. Компьютерная реконструкция горизонтальных проекций нормальных деформаций платформенной области Юго-Восточной Европы, составленная О.И. Гущенко по нашим данным; длина вектора обратно пропорциональна углу наклона от земной поверхности, направление наклона — от точки в основании вектора [Копп, 2004а].

1 — вектор главного укорочения; 2 — вектор главного удлинения

Помимо специальных мезоструктурных исследований проводилось обобщение литературных данных о кинематике и динамике формирования разрывов и других макроструктур (при этом в отношении разрывов выбирались только те, факт существования и знак смещения которых убедительно доказаны детальной съемкой и бурением).

Кроме того, специально анализировались среднemasштабные структурные и геологические карты с целью выявления структурных рисунков, характеризующих разные динамические режимы (особенно сдвиговый, не всегда определяемый другими методами). Одновременно на топокартах и цифровых моделях рельефа с помощью известных, но приспособленных нами для платформенных условий приемов [Копп, 2004а, 2011а; Копп и др., 2000] дешифрировались несущие кинематическую информацию особенности рисунка гидросети и взаимного расположения морфоструктур.

Все эти методические процедуры проводились в комплексе, и их результаты сравнивались между собой с целью добиться максимальной информативности выводов и одновременно определить «разрешающую способность» каждого из применяемых методов.

Книга публикуется при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований № 6 Отделения наук о Земле РАН «Динамика континентальной литосферы: геолого-геофизические модели», проект «Трансконтинентальные сдвиги на границах платформ Восточной Европы: Уральско-Герирудская и Крымско-Копетдагская постколлизийные сдвиговые системы».

Благодарности

Исследование было инициировано и постоянно поддерживалось академиком Ю.Г. Леоновым. Финансовая поддержка осуществлялась грантами РФФИ и Программой № 6 ОНЗ РАН.

В сборе полевого материала участвовали Е.Ю. Егоров, М.Е. Борисов и А.В. Кудашев. О.И. Гущенко создал компьютерную версию

кайнозойского поля напряжений/деформаций южной части рассматриваемой территории.

По вопросам региональной тектоники, неотектоники, сейсмичности, глубинного строения и методики анализа поля напряжений мы консультировались с В.С. Буртманом, Ю.А. Воложем, О.И. Гущенко, Г.А. Данукаловой, А.И. Кожуриным, Н.В. Короновским, Ю.Г. Леоновым, В.И. Макаровым, Л.И. Надежка, А.М. Никишиным, В.Н. Пучковым, Л.М. Расцветаевым, Ю.А. Ребецким, А.И. Трегубом, В.Г. Трифоновым, Л.А. Сим, А.Е. Шлезингером и Ю.К. Щукиным.

Всем перечисленным коллегам выражаем искреннюю признательность.

Список авторов

Васильев Никита Юрьевич — Российский государственный геолого-разведочный университет, 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23

Вержбицкий Владимир Евгеньевич — Институт океанологии им. П.П. Ширшова, 117851, Москва, Нахимовский пр., д. 36

Иоффе Александр Иосифович — Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7

Колесниченко Алексей Александрович — Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7

Копп Михаил Львович — Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7

Корчемагин Виктор Александрович — Донецкий национальный технический университет, Республика Украина, 83001, Донецк, ул. Артема, д. 58

Макарова Наталия Валентиновна — МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1

Мострюков Александр Олегович — Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, 123995, Москва, Большая Грузинская ул., д. 10, стр. 1

Тверитинова Татьяна Юрьевна — МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1

Кайнозойские напряжения по макроструктурным данным

В рассматриваемых платформенных условиях динамическая обстановка формирования структуры проявляется прямым образом только в кинематике разрывов того или иного простирания, а косвенно — в типе кулисности структур и других особенностях структурного рисунка. Несмотря на то, что достоверно откартированные разрывы, особенно с установленной кинематикой, редки в рассматриваемом регионе, их совокупность позволяет оценить направление действующих напряжений, а кое-где — и тип поля напряжений, или стресс-режима (сжатие, растяжение и сдвиг). Именно эти, опорные, сведения, прежде всего необходимые для оценки «разрешающей способности» макроструктурного подхода в имеющихся условиях, мы и рассмотрим в настоящем кратком разделе, но дополнительная морфологическая информация будет приводиться для сравнения с мезоструктурными данными по мере характеристики последних. Кроме того, многие результаты динамического анализа макроструктур подробно освещены нами ранее [Копп, 2004а, 2005, 2011а, 2012; Копп, Тверитинова, 2001; Копп и др., 2008, 2010].

Главные выводы макроструктурного анализа сводятся к следующему.

Первый из них — это разнообразно проявляющееся *участие горизонтальной компоненты напряжений* в формировании платформенных неоструктур. О ее точной роли судить сложно, но очевидно, что наряду с субвертикальными сбросами («взрезами», по В.В. Белоусову), образующимися при вертикальных перемещениях блоков, широко встречаются взбросы и даже надвиги (те и другие обычно называют надвигами, но регистрируемые по данным бурения горизонтальные перекрытия не превышают нескольких сот метров), а также сдвиги и наклонные сбросы.

Подтвержденные съемкой и бурением *взбросы и надвиги* единичны (если не считать косвенных аргументов в пользу их более широкого распространения на глубине [Валеев, 1981; Высоцкий, Калинин, 2000; Казанцев, Казанцева, 2001; Камалетдинов и др., 1979]). Большинство из них приурочено к границам активизированных поднятий герцинско-киммерийского фундамента (видимо, по сравнению с докембрийским, более мобильного) на востоке и юге рассматриваемой территории. Так, они обнаружены вдоль бортов новейшего Урала (Лозьвинский надвиг между Средним–Северным Уралом и Западно-Сибирской плитой [Лидер, 1960, 1964; Ренгартен, 1948], кулисные Новокиевский (рис. 5 и 6) и Мугоджарский взбросы — на границе Южного Урала и Мугоджар с Прикаспийской синеклизой); все они имеют параллельное Уралу простирание.

В Донбассе активизированные в кайнозойское время надвиги (предположительно датируемые от ларамийского до позднеальпийского возраста [Попов, 1963; Разницын, 1976; Стомба, Стифенсон, 2000]) — Северодонецкий на севере и Персиановский на юге — также ограничивают с боков Донецкое складчатое сооружение (ДСС), новейший контур которого частично совпадает с герцинским. Для уральских и донецких новейших взбросов характерна интенсивная и широкая деформация лежачего крыла (сложного юрско-меловыми либо палеогеновыми слоями) в виде складок и чешуй, а иногда и некоторая кливажированность пород. Крупный взброс установлен сейсморазведкой и сразу к востоку от Донбасса, где герцинско-киммерийский фундамент Кряжа Карпинского надвинут к югу на кайнозой Манычского прогиба [Sobornov, 1995].

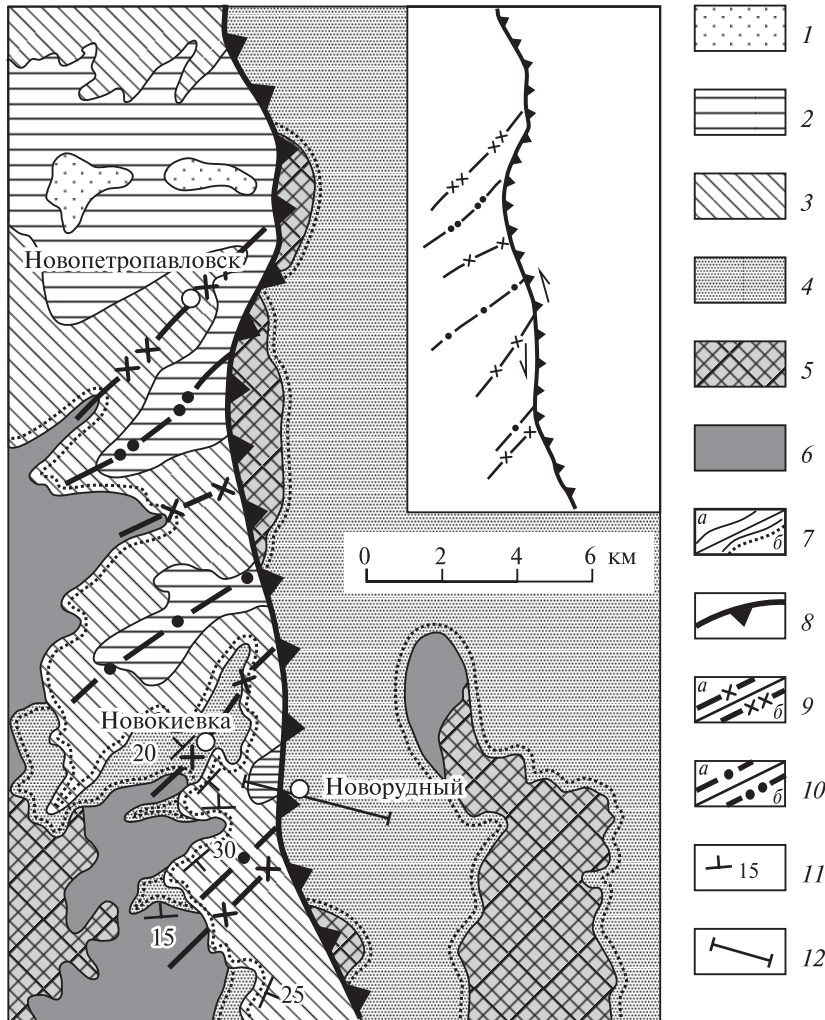


Рис. 5. Геологическая карта района Новокиевского взброса [Государственная геологическая карта..., 1959], с упрощениями и дополнениями. На врезке — структурно-кинematicкая схема, по нашим данным

1–6 — стратиграфические комплексы: 1 — средний–верхний эоцен, 2 — низы эоцена, 3 — маастрихт, 4 — средняя юра, 5, 6 — палеозой (5 — зеленосланцевые породы, 6 — перидотиты); 7 — геологические границы: *a* — согласные, *b* — трансгрессивные; 8 — Новокиевский взброс (вершины треугольников — по падению сместителя); 9 — оси антиклиналей: *a* — установленных, *b* — предполагаемых по конфигурации эрозионных окон; 10 — оси синклиналей: *a* — установленных, *b* — предполагаемых по конфигурации эрозионных окон; 11 — элементы залегания; 12 — линия профиля

В центре же Русской плиты, где на верхний мезозой — эоцен местами надвигается докембрийский фундамент, фиксируемые там единичные взбросо-надвиги — Жигулевский и Елшанско-Сергиевский (Саратовский) — уже полностью не связаны ни со структурным планом, ни с контурами или знаком докембрийских структур и являются полностью наложенными, секущими. При этом из-за большей глубинности эти взбросы, несмотря на их заметную стратиграфи-

ческую амплитуду в кровле фундамента и нижних горизонтах чехла, почти целиком затухают вверх, на поверхности замещаясь флексурами (хотя это не мешает некоторым из них, например, Жигулевскому, быть весьма резко выраженным в новейшем рельефе и, судя по всему, проявлять активность вплоть до настоящего времени [Копп, Тверитинова, 1999; Обедиентова, 1953]).

Интересно, что здесь же, прямо в центре Русской плиты, встречаются и надвиги прямо противоположного свойства, образовавшиеся при срыве определенных частей чехла по нижним его горизонтам, совсем незатронутым надвиговой деформацией. Наиболее известный пример такого рода — небольшие (10–20 км в длину) и бескорневые Карлинские дислокации, где верхние горизонты чехла, от среднего карбона и до юры включительно, сорваны по полого залегающим нижнекаменноугольным и более древним слоям чехла, с мощным развитием брекчирования по поверхности срыва. Дислокации представлены быстро выклинивающимися в обе стороны пучком надвиговых чешуй и ассоциирующихся складок, скошенных к ЮВ, который в плане выглядит как сильно выгнутая туда же, к ЮВ, структурная петля, с обоих флангов ограниченная попутными изгибу (судя по знаку кулисности чешуй) сдвигами. В тылу оттянутого (к ЮВ) наподобие древка лука надвигового пучка находится широкая и плоская депрессия, выполненная озерным плиоценом.

Единого мнения по поводу генезиса Карлинских дислокаций нет, и обсуждалась даже астроблемная гипотеза. Заметим, однако, что все отмеченные особенности структуры дислокаций, установленные в процессе детальных съемок В.А. Семакиным [Государственная геологическая карта..., 2000] и М.В. Рудневым [2005], но прежде всего их бескорневой характер, скорее напоминают (в орогенах) таковые типичных

сорванных покровов — которые, как известно, формируются при заметном участии силы тяжести. Плоскую же плиоценовую мульду в тылу надвиговой дуги тогда логично рассматривать как область срыва покровной пластины, заполненную осадками. Такая точка зрения поддерживается приуроченностью Карлинских и других, еще более мелких бескорневых дислокаций похожего рода (изучавшихся В.А. Семакиным в том же районе близ северо-восточной вершины Приволжской возвышенности) к достаточно резко выраженной в топографии свит чехла региональной флекуре между Токмовским массивом и Мелекесской впадиной.

крупноамплитудные взбросо-надвиги фундамента центра Русской плиты — Саратовский и Жигулевский — группируются на одном меридиане с Карлинскими (и другими) бескорневыми дислокациями, а также с упомянутыми двумя валами. Этот меридиан, принадлежащий к известному Транскавказскому поперечному поднятию, по нашему мнению, обозначает линию наиболее концентрированного приложения позднеальпийского коллизионного давления с юга [Копп, 2004а, 2007а; Леонов и др., 2001]. Высказывая все эти предположения, признаем все же, что генезис Карлинских и им подобных структур еще далек от своего разрешения.

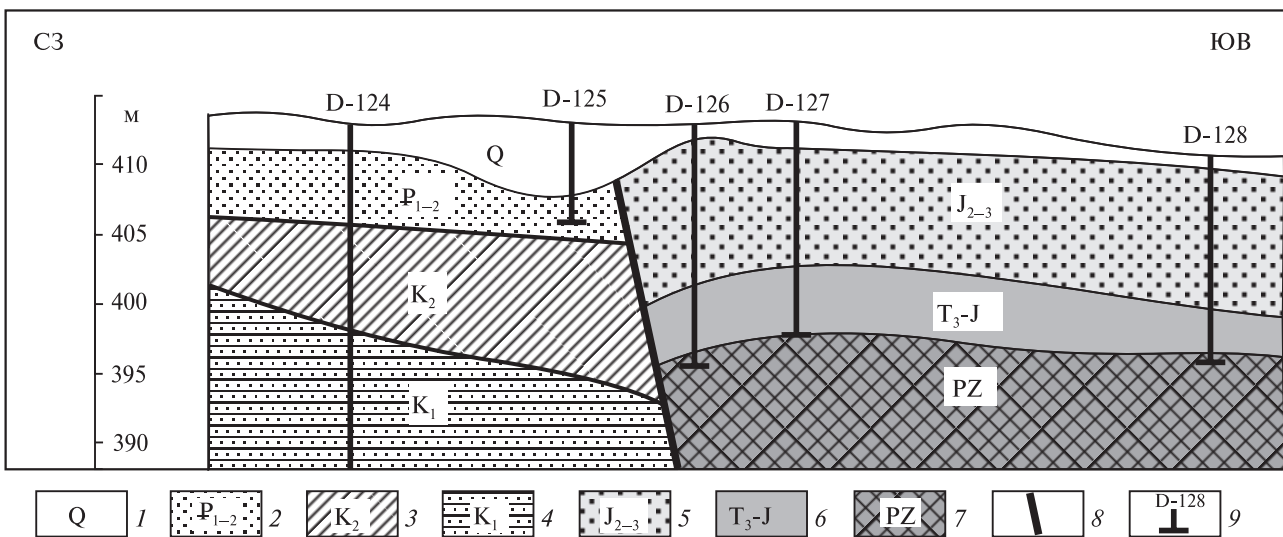


Рис. 6. Геологический разрез через Новокиевский взброс в районе пос. Новорудный

1–7 — стратиграфические комплексы: 1 — квартал, 2 — палеоцен–эоцен, 3 — верхний мел, 4 — нижний мел, 5 — средняя (?)–верхняя юра, 6 — верхний триас — юра (кора выветривания), 7 — палеозой; 8 — разрыв; 9 — скважины и их номера

В такой позиции, да еще и при наличии склонных к дисгармоничному проскальзыванию мало вязких эвапоритовых и глинистых пачек (частых в разрезе среднего–верхнего палеозоя), гравитационно-тектонический срыв, равно как и чисто гравитационный (оползневой), вполне способен осуществиться сам по себе. Однако катализатором срыва с бровки уступа вполне мог оказаться и тектонический подвиг под последний, происходивший на более близком к фундаменту уровне; такой вариант представляется наиболее вероятным.

В этом смысле интересно соседство с участком развития всех этих сорванных дислокаций гораздо более крупных Борлинского и Байтуганского валов, выраженных в рельефе кровли фундамента и, что также существенно, имеющих близкое к дислокациям и флекуре СВ–ССВ простирание. Отметим также, что наиболее

Кайнозойские надвиги иногда выделяются (на уровне предположений) и вдоль бортов складчатых зон, возникших при смятии чехлов авлакогенов, например, Пачелмского или Вятско-Кажимского. Реально доказанных разрывов здесь нет, но некоторые авторы находят возможным наличие надвигов вдоль более крутых бортов таких складчатых зон [Высоцкий, Калинин, 2000; Государственная геологическая карта..., 1999]. Сам факт их сжатия в кайнозой обоснован давно [Милановский, 1983; Nikishin, Brunet et al., 1999, Nikishin, Ziegler et al., 1999], и об этом, помимо складчатых деформаций авлакогеновых чехлов, образующих мегавалы, свидетельствует наличие в основании последних вторично утолщенных линз нижних горизонтов чехла (рис. 7; см. также ниже рис. 19) — своего рода аналогов «корней гор» [Высоцкий, Калинин, 2002; Государственная

геологическая карта..., 1999], что дополнительно способствовало превращению авлакогенов в инверсионные антиклинории. Таков, например, образовавшийся при смятии осадков Казанско-Кажимского трога субмеридиональный Вятский мегавал (и одноименные дислокации), в вертикальном разрезе заметно скошенный к востоку [Высоцкий, Калинин, 2000; Государственная геологическая карта..., 1999] (см. рис. 7 и ниже рис. 19). Однако никаких прямых свидетельств над-

вигов здесь пока не найдено, и можно лишь отметить (как это и делается цитируемыми авторами) поперечную асимметрию таких линз и возникших над ними мегавалов — нечто, напоминающее вергентность. «Дивергентным» в таком смысле, с некоторым преобладанием северной «вергентности», является складчатый пояс, сформировавшийся из Пачелмского авлакогена (параллельные ему Керенско-Чембарские и Сурско-Мокшинские дислокации).

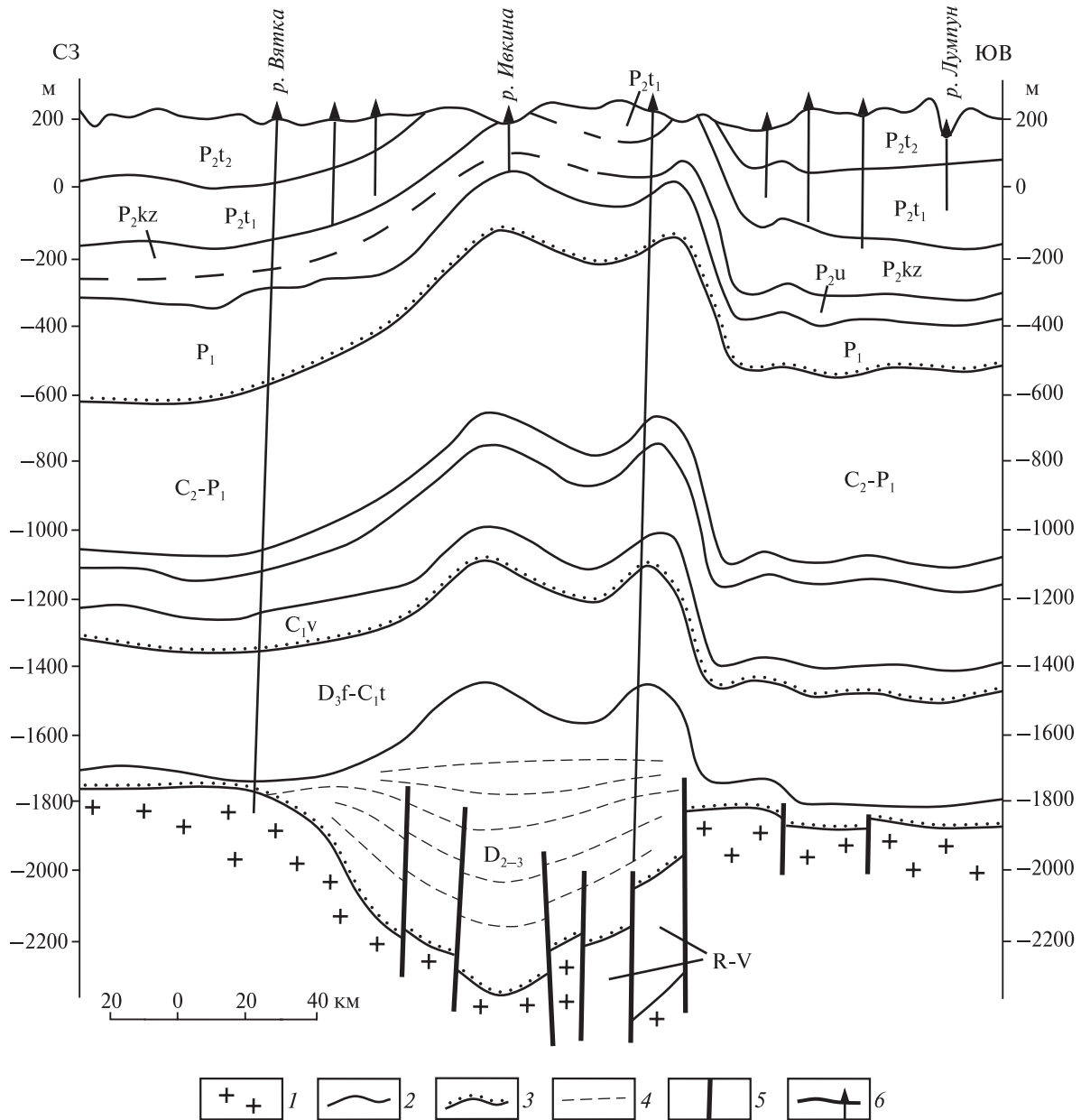


Рис. 7. Разрез центрального сегмента Вятских дислокаций на широте Котельнича–Адышева [Государственная геологическая карта..., 1999, с небольшими изменениями]

1 — фундамент; 2 — согласные границы пачек; 3 — трансгрессивные границы пачек; 4 — второстепенные отражающие горизонты; 5 — разрывы; 6 — скважины

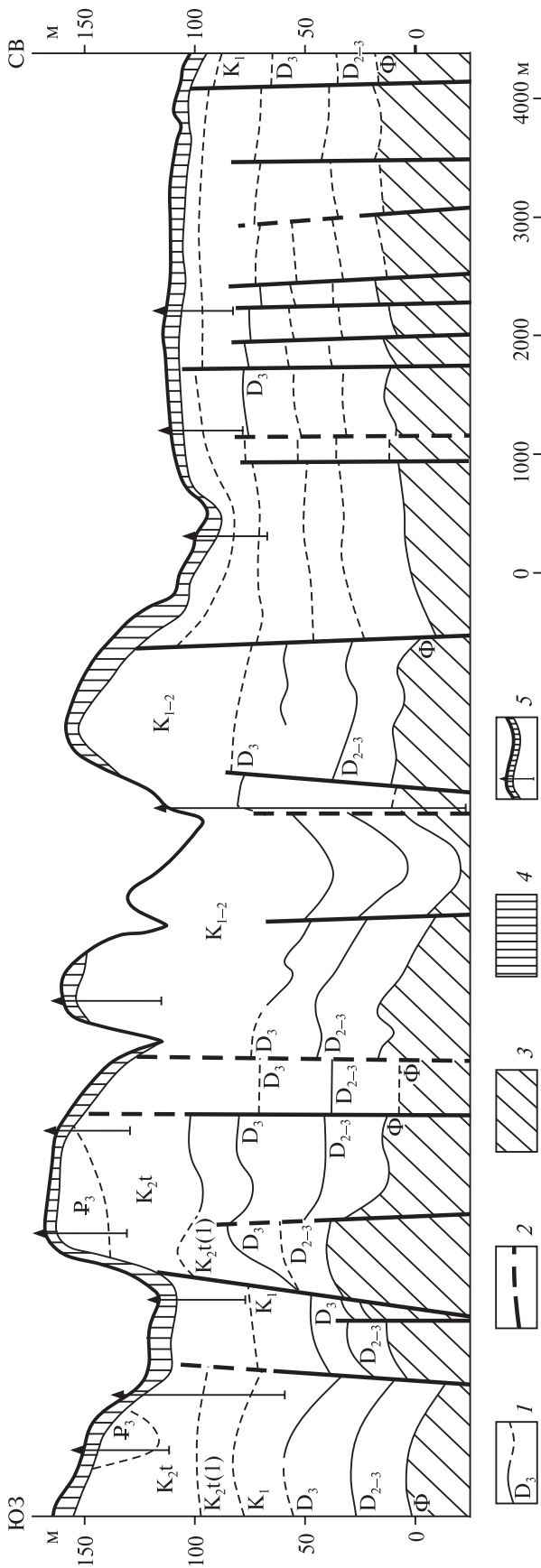


Рис. 8. Регистрируемые детальной сейсморазведкой малоамплитудные сбросы и образуемые ими наклонные блоки в районе Нововоронежской АЭС [Тарков и др., 2002]

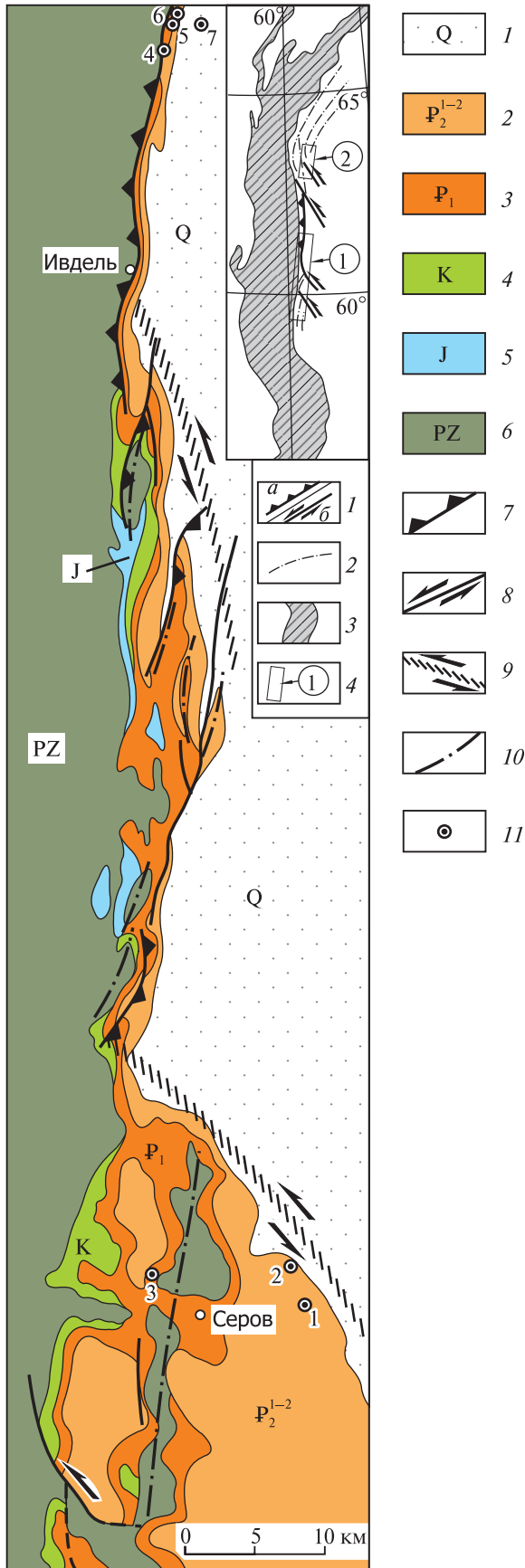
1 — сейсмические отражающие горизонты со стратиграфическими индексами их возраста; 2 — разрывы; 3 — кристаллический фундамент; 4 — четвертичный покров; 5 — скважины

Доказанные сбросы (среди которых имеются в виду сильно наклоненные — положе 60° , т.е. образовавшиеся именно при растяжении), как правило, бывают малоамплитудными (до 50–100 м), но зато образуют протяженные домены. Таковы, например, зоны новейших грабенов по краям Прикаспийской синеклизы (см. ссылки на работы А.Н. Мазаровича, В.М. Харченко с соавторами в монографии [Копп, 2004а]): к северу от нее — серия сложенных верхним мелом грабенов внутри полей триаса и перми на новейшем своде Общего Сырта, а к западу — «Бальклейские» грабены с плиоценом в ядре на вершине Приволжской возвышенности.

Совсем недавно поле постмаастрихтских (с выражением и в четвертичном рельефе) сбросов амплитудой в десятки метров по слоям девона и мела были обнаружены высокоточной сейсморазведкой вдоль южного борта Окско-Донского новейшего прогиба) [Тарков и др., 2002] (рис. 8). По данным цитируемых авторов, новейшее растяжение, выраженное в верхах чехла сбросообразованием, в низах последнего совпало с дешифрирующимся на высокоточных сейсмопрофилях будинажем пластов известняков девона и, соответственно, имеет несомненно глубинное происхождение.

Однозначно доказанные новейшие сдвиги единичны. На восточном погружении Урала левые сдвиги, смещающие мел-эоцен Серовского и других валов, откартированы к востоку и югу от Лозьвинского взброса [Лидер, 1964] (см. также [Копп, 2007б]); они имеют северо-западное простирание, свидетельствуя о субширотном сжатии поперек Урала (рис. 9 и 10).

Условно можно добавить к доказанным и четко дешифрирующиеся многочисленные сдвиги меридиональной оси Мугоджарской новейшей гряды, равно как сопровождающих ее взброса и крутой привзбросовой флексуры. В зоне последней круто наклонены слои мела-эоцена, что доказывает новейший возраст как самого взброса, так и сопровождающих его сдвиговых смещений (рис. 11) [Копп, 2004б, 2005].



Простираение диагональных левых и правых сдвигов также указывает на широтное («уральское») сжатие. Точно так же организованы и продольные сдвиги разного знака, происходившие вдоль самого Мугоджарского взброса: их знак согласуется с таковым вышерассмотренных диагональных сдвигов. Продольные субмеридиональные сдвиги установлены нами по наличию в зоне привзбросового подворота гирлянд небольших кулисных складок, указывающих на смещения разного знака: на севере — левого, а на юге — правого (рис. 12). Установленная по кулисности мелких складок левосдвиговая компонента северного отрезка Мугоджарского разрыва по такому же признаку фиксируется и для продолжающего его к ССЗ (после перерыва в обнаженности) Новокиевского взброса (см. рис. 5), что дополнительно показывает единство этой линии двух разрывов.

В целом характер распределения сдвигов разного знака на флангах плавно огибающей Прикаспийскую синеклизу Мугоджарско-Новокиевской линии взбросо-сдвигов указывает на вторичное выгибание этой дуги к востоку и, таким образом, согласуется с предположением о новейшем внутриплитном поддвиге утоненной коры синеклизы к востоку, под Мугоджары [Копп, 2004а, 2005] (см. рис. 2 и 3). На севере левосдвиговое смещение поддерживалось не менее крупной региональной зоной новейших левых сдвигов Общего Сырта (только уже субширотного, восток-северо-восточного, простираения), сосредоточенных у северного борта синеклизы [Копп, 2004а]. Общий изгиб левых сдвигов от субширотного к северо-западному простираению в направлении от Общего Сырта к Мугоджарам позволил нам также предположить возможность некоторого новейшего поворота Прикаспийского блока по часовой стрелке.

Делая подобные кинематические выводы, отметим, что нам мало что-либо известно о полной амплитуде сдвиговых смещений (можно отметить только, что сдвиги, смещающие Мугоджарскую мегантиклиналь и связанный с ней взброс, имеют видимые амплитуды не более 1–2 км). Не исключено также, что новейший изгиб Мугоджарской гряды в какой-то мере вписан в имеющий такой же знак, но большую амплитуду, герцинский.



Рис. 9. Геологическая карта южной части Лозьвинских дислокаций. На врезке — схема их расположения

1 — четвертичные отложения; 2 — нижний-средний эоцен; 3 — палеоцен; 4 — мел; 5 — юра; 6 — палеозой; 7 — взбросы и надвиги; 8 — сдвиги; 9 — предполагаемые зоны сдвига; 10 — оси складок; 11 — точки мезоструктурных наблюдений.

На врезке: 1 — разрывы; а — взбросы; б — сдвиги; 2 — линии простираения складок; 3 — контур Урала; 4 — контуры участков детализации мезоструктурных наблюдений

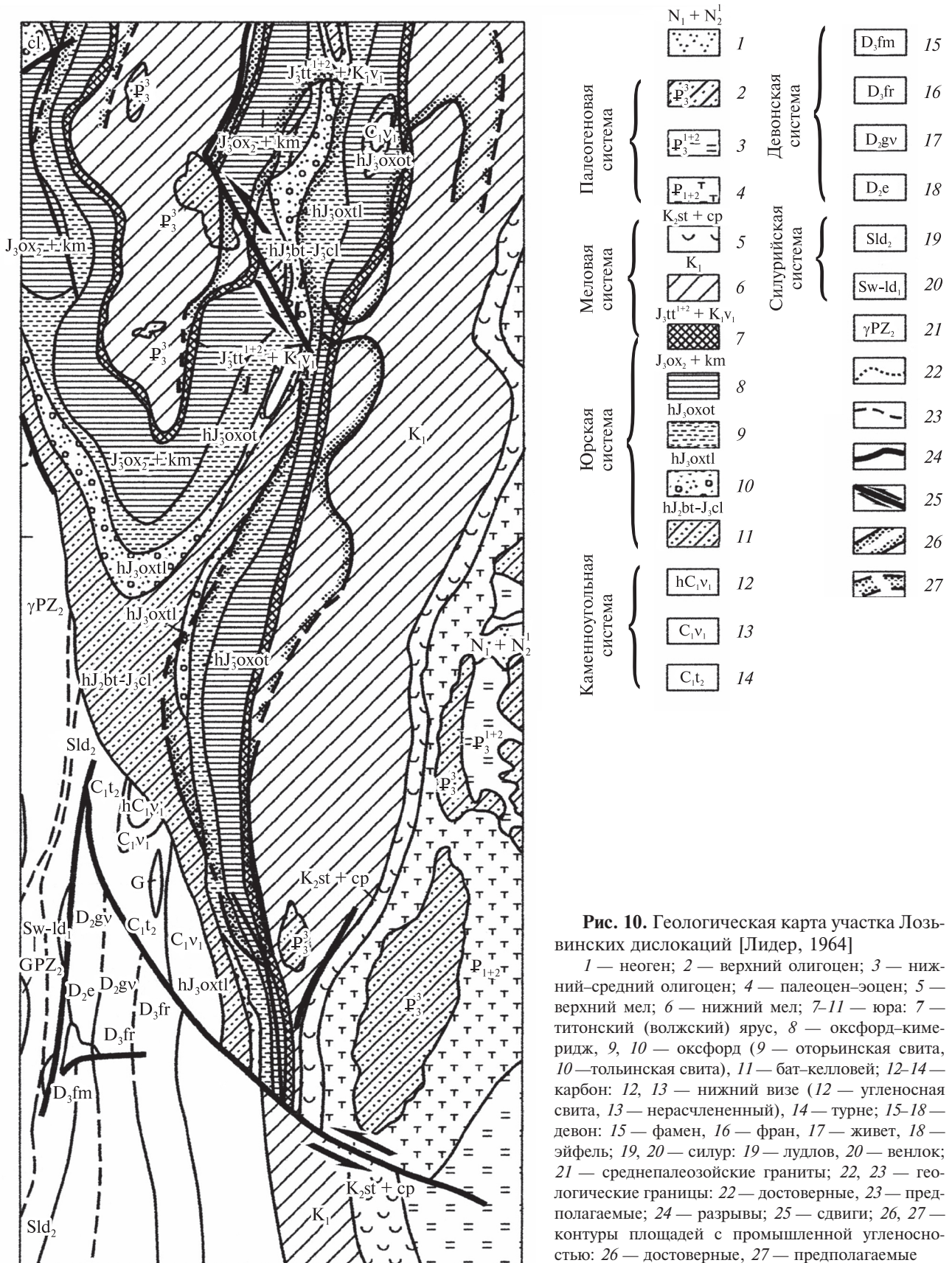
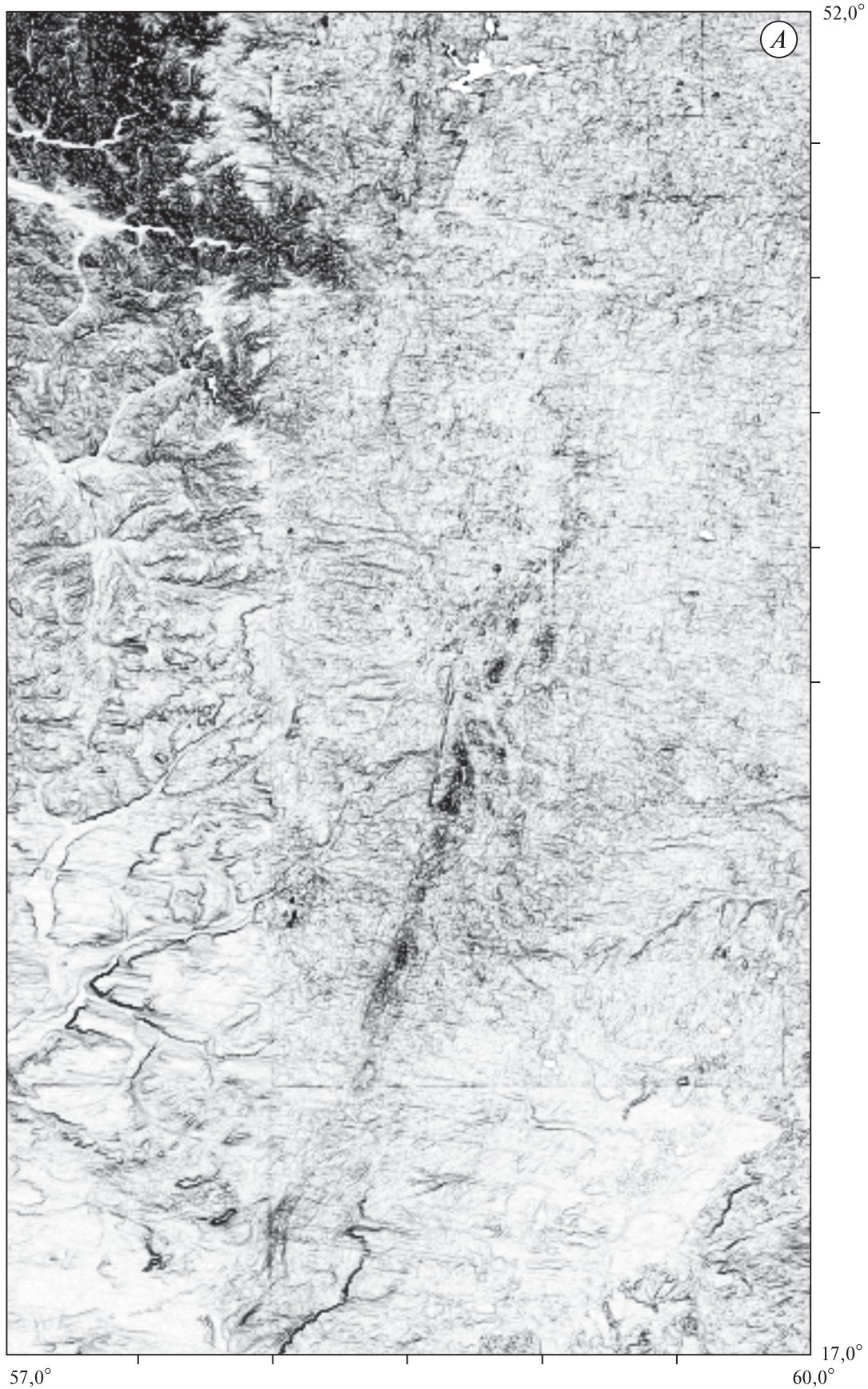
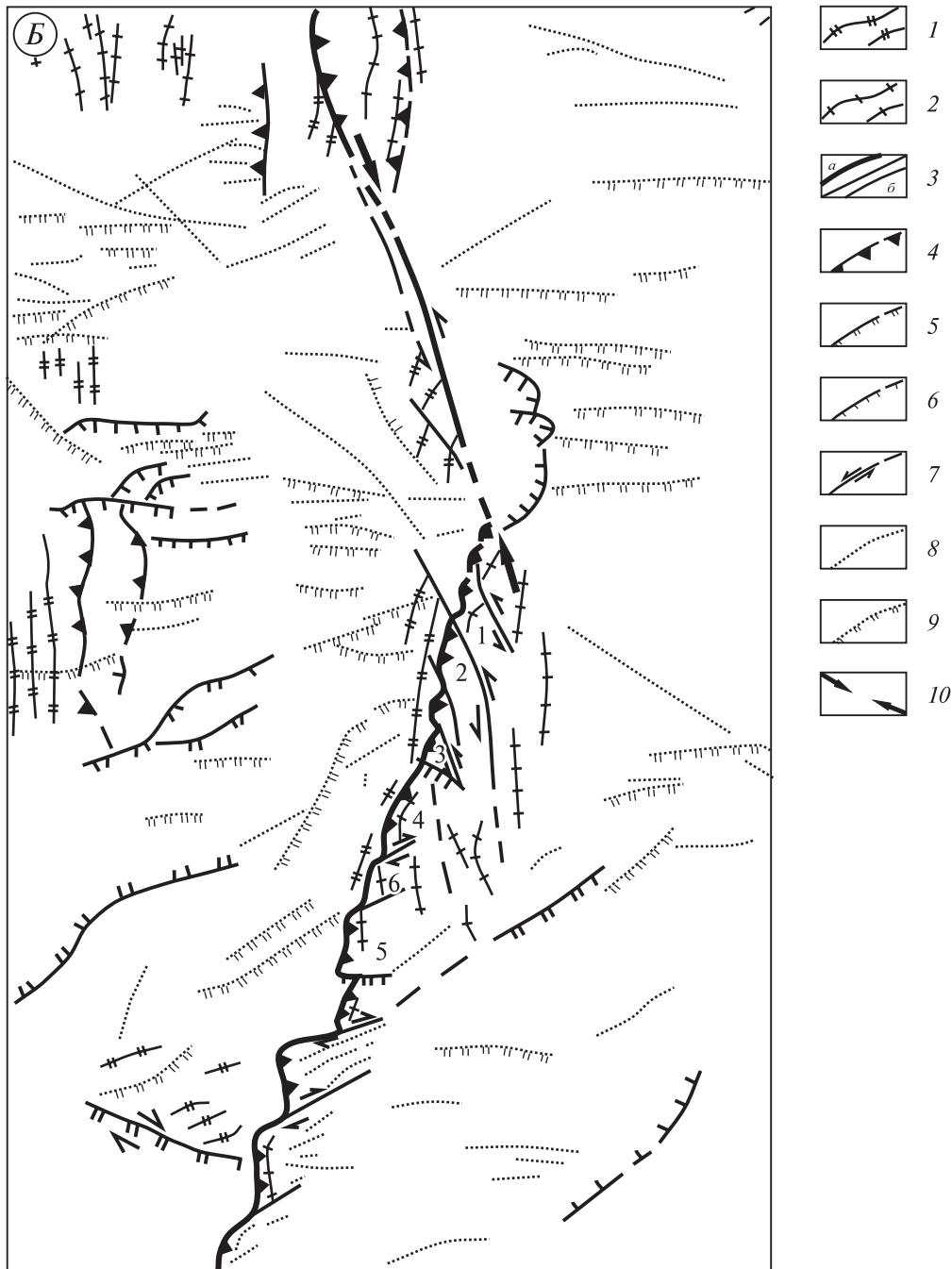


Рис. 10. Геологическая карта участка Лозьвинских дислокаций [Лидер, 1964]

1 — неоген; 2 — верхний олигоцен; 3 — нижний-средний олигоцен; 4 — палеоцен-эоцен; 5 — верхний мел; 6 — нижний мел; 7-11 — юра: 7 — титонский (волжский) ярус, 8 — оксфорд-кимеридж, 9, 10 — оксфорд (9 — отгорьинская свита, 10 — тольинская свита), 11 — бат-келловей; 12-14 — карбон: 12, 13 — нижний визе (12 — угленосная свита, 13 — нерасчлененный), 14 — турне; 15-18 — девон: 15 — фамен, 16 — фран, 17 — живет, 18 — эйфель; 19, 20 — силур: 19 — лудлов, 20 — венлок; 21 — среднепалеозойские граниты; 22, 23 — геологические границы: 22 — достоверные, 23 — предполагаемые; 24 — разрывы; 25 — сдвиги; 26, 27 — контуры площадей с промышленной угольностью: 26 — достоверные, 27 — предполагаемые



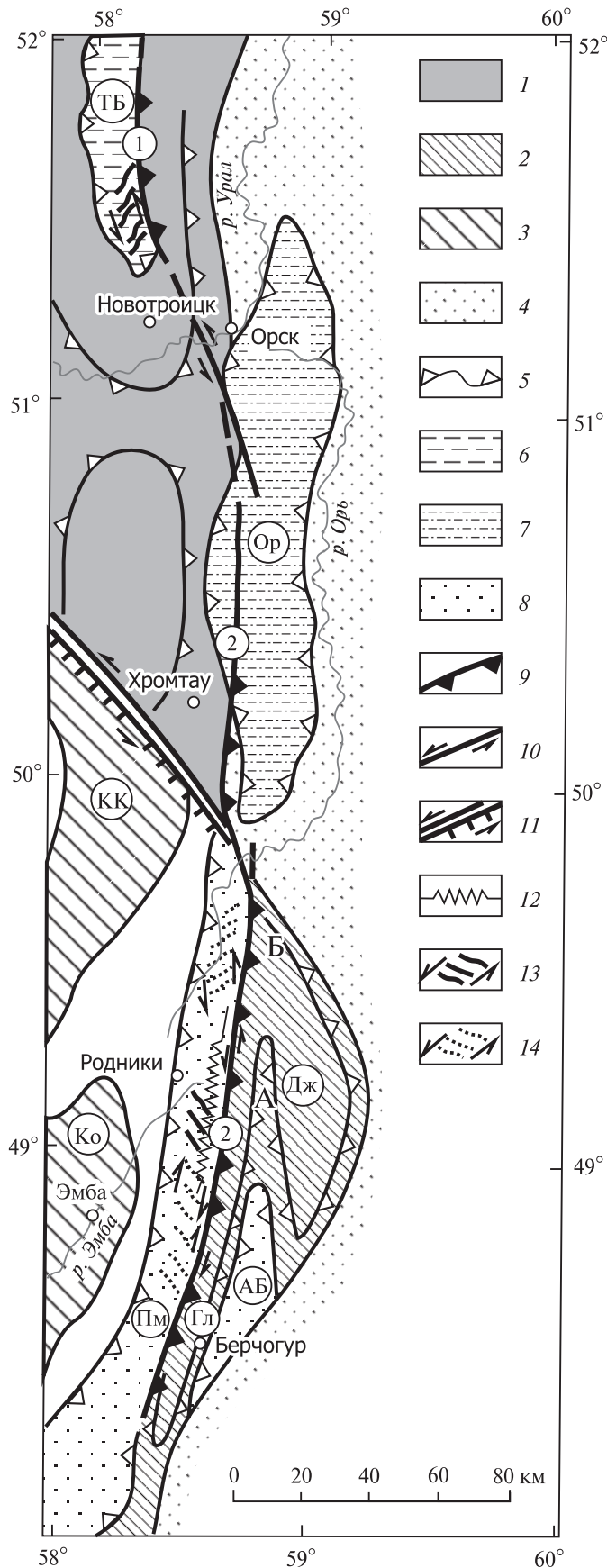


⇐ ↑

Рис. 11. Цифровая модель градиентов рельефа Мугоджар с разрешением 30" (А) и ее структурная интерпретация (Б)

1, 2 — маркирующие горизонты в отложениях: 1 — мел-кайнозойских, 2 — палеозойских; 3-7 — новейшие разрывы (в том числе предполагаемые), разделяющие блоки с неодинаковым стилем морфоструктуры: 3 — разрывы разного ранга (а — принадлежащие зоне Западно-Мугоджарского разрыва, б — прочие), 4-7 — разрывы разной кинематики: 4 — взбросы и надвиги, 5 — разрывы с видимым вертикальным смещением, 6 — сбросы, 7 — сдвиги; 8, 9 — линеаменты без видимого смещения, трассирующиеся внутри областей с однородным стилем рельефа и выраженные: 8 — ложбинами, 9 — уступами (берштрихи — в сторону экспозиции уступа), 10 — линеамент, соответствующий предполагаемому продолжению Западно-Мугоджарского разрыва.

Неотектонические блоки зоны Западно-Мугоджарского разрыва: 1 — Жамантау, 2 — Даутау, 3 — Кучумбай, 4 — Два Брата, 5 — Большой Бахтыбай, 6 — Берчогур



В пределах самой Русской плиты правые сдвиги северо-западного простирания откартированы на юго-западе Прикаспия. По серии таких сдвигов смещена (в сумме до 1–1,5 км) ось простирающегося субширотно (ЗСЗ–ВЮВ) Промысловско-Цубукского вала с олигоцен-миоценовыми слоями в ядре [Государственная геологическая карта..., 1988] (рис. 13).

Кроме того, послемеловые правые сдвиги той же ориентировки обнаружены сейсморазведкой и на параллельном ему Сальско-Маньчском мегавалу (рис. 14), наследующем древний Кряж Карпинского (ссылки см. в [Копп, 2004а]), но амплитуду горизонтального смещения определить сложно из-за вторичной складчатой переработки морфологии смещаемых структур в зоне сдвига (рис. 15). Взятый в целом рассматриваемый правосдвиговый домен трассируется на Донбасс, где правые сдвиги проявляются не только в знаке кулисности структур, но и в смещениях послемеловых складок на его западе (ссылки см. в работе [Копп и др., 2010]; см. также ниже рис. 20).

Рис. 12. Неотектоническое районирование и элементы макроструктуры Мугоджар [Копп, 2004б, 2005]

1–4 — неотектонически поднятые участки: 1 — погружение Южно-Уральского свода, 2 — Западно-Мугоджарская мегантиклиналь, 3 — новейшие поднятия внутри Прикаспийской синеклизы, 4 — Зауральская и Восточно-Мугоджарская структурные ступени; 5 — условные морфоизобазы, иллюстрирующие конфигурацию поднятий; 6–8 — мезозойские и кайнозойские прогибы, возрасты: 6 — позднеюрско-палеогеновый, 7 — позднеюрский и (унаследованный) неоген-четвертичный, 8 — неоген-четвертичный; 9, 10 — откартированные разрывы: 9 — взбросы и надвиги, 10 — сдвиги (кинематика — по данным [Копп, 2004б, 2005]); 11 — региональная флексура (бергштрихи — в сторону опущенного крыла) с вероятной левосдвиговой компонентой, предполагаемой по особенностям структурного рисунка; 12 — полоса круто залегающих слоев юры-палеогена в лежачем крыле Западно-Мугоджарского разрыва; 13, 14 — эшелонированные складки, указывающие на сдвиг (14 — предположительные).

Новейшие мегантиклинали и валообразные структуры: Гл — «Главная» Западно-Мугоджарская, Дж — Джангенинская, КК — Кокпектинско-Кемпирсайская, Ко — Кокпектинская.

Новейшие депрессии: АБ — Алабас-Берчогурская синеклинал, Ор — Орский «грабен», Пм — Предмугоджарский прогиб, ТБ — Таналык-Баймакский прогиб.

Новейшие разрывы: 1 — Новокиевский, 2 — Западно-Мугоджарский

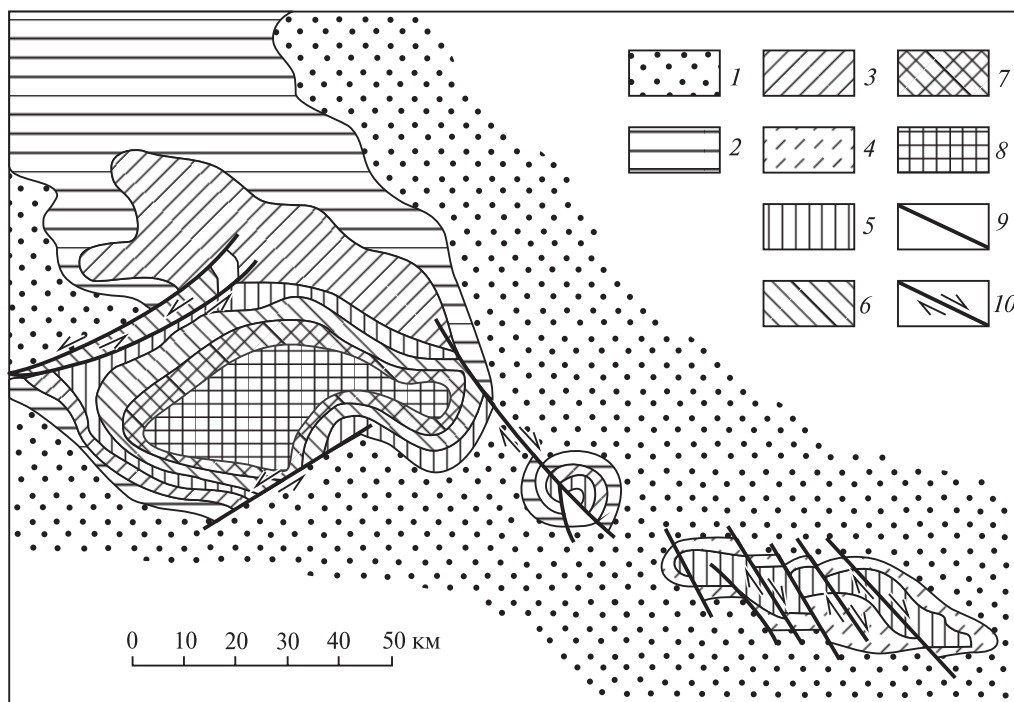


Рис. 13. Сдвиги Промышленско-Цубукского вала (геологическая основа взята с [Государственная геологическая карта..., 1988]; кинематическая интерпретация разрывов [Копп, 2004a])

1 — майкопская серия (олигоцен — нижний миоцен); 2 — эоцен; 3 — палеоцен; 4 — палеоцен-эоцен, нерасчлененные; 5 — маастрихт; 6 — сантон и кампан нерасчлененные; 7 — турон и коньяк нерасчлененные; 8 — альб и сеноман нерасчлененные; 9 — разрывы; 10 — сдвиги

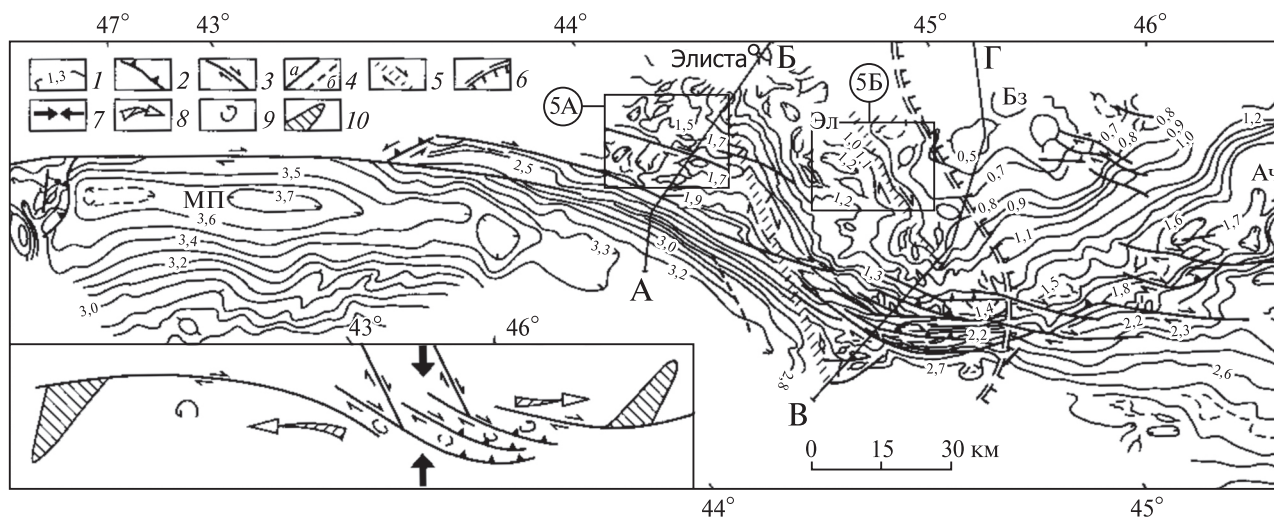


Рис. 14. Структурная карта Сальско-Манычского мегавала по кровле мела, составленная по данным обобщения структурных карт; кинематика разрывов интерпретирована нами [Копп, 2004a]. На врезке — интерпретация структурного рисунка и глубинных горизонтальных перемещений блоков

1 — стратозогипсы кровли мела, км; 2 — взбросы; 3 — сдвиги; 4 — разрывы неясной кинематики: а — надежно протрасированные, б — предполагаемые; 5 — широкие зоны сдвига в горизонтальной плоскости; 6 — местоположение Ергенинского уступа; 7 — ориентировка сжатия; 8 — направление латерального выжимания масс из области гиперкомпрессии; 9 — направление вращения блоков; 10 — поперечные структуры сжатия, вероятно, компенсирующие сдвиговое смещение.

Наименования структур: Ач — Ачинерский прогиб, Бз — Бузгинский блок, МП — Манычский прогиб, Эл — Элистинский блок.

Цифры 5А и 5Б в кружках — номера рис. 5, А и 5, Б в работе [Копп, 2004a], откуда заимствован рисунок 14; А-Б и В-Г — линии профилей, заимствованные там же

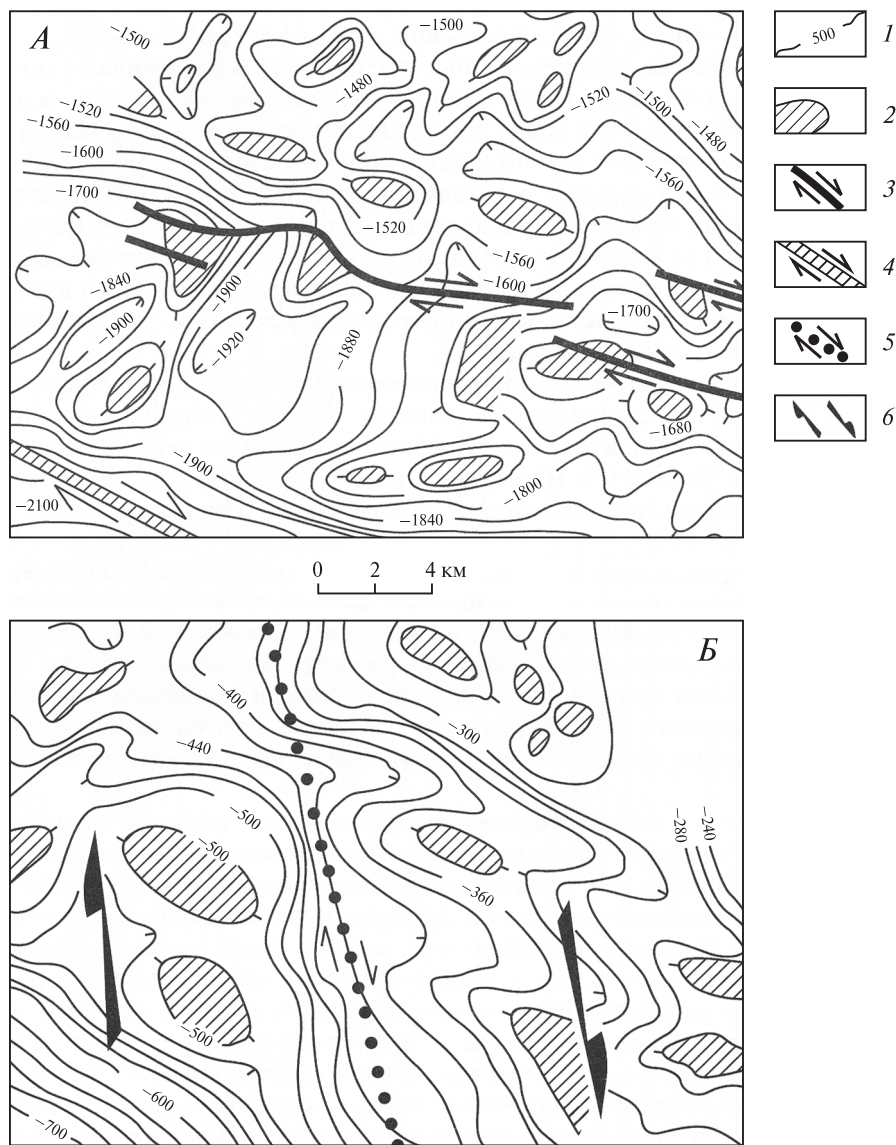


Рис. 15. Примеры участков проявления сдвиговой деформации в осевой зоне Сальско-Маньчского мегавала

А — поперечная ориентировка брахискладок чехла и их торцевое сочленение с разрывами — вероятные результаты сжатия сдвинутых блоков в их фронтальной части (район Белоглинского и Ульдючинского поднятий); *Б* — кулисное расположение брахискладок чехла, свидетельствующее о правом сдвиге (район Элистинской флексуры, к западу от Буратинского поднятия).

1 — стратоизогипсы, м; 2 — своды брахиантиклиналей; 3 — сдвиги; 4 — региональный разлом вдоль южного борта Сальско-Маньчского мегавала с вероятной правосдвиговой компонентой смещения; 5 — предполагаемый глубинный сдвиг вдоль Элистинской флексуры; 6 — направление скашивания внутри зоны правостороннего простого сдвига над Элистинским глубинным разломом

Все упомянутые правые сдвиги Донецко-Прикаспийской области Русской плиты имеют северо-западное — север-северо-западное простирание, регистрирующее сжатие этой части платформы в северном — север-северо-восточном направлении. Заметим, что правые сдвиги той же ориентировки преобладают над левыми и по соседству, на западе Большого Кавказа [Копп, 1989, 1997, 2007а; Расцветаев, 1989] — что пря-

мо свидетельствует о единстве деформации соответствующей части платформенной области и Кавказского орогена.

Дальше к северу, на Русской плите, сдвиги предполагаются также широко, но уже по косвенному признаку — особенностям структурного рисунка. Сопряженные правые и левые сдвиги, соответственно восток-северо-восточного и субмеридионального север-северо-западного прости-

рания, сходятся симметрично к области кульминации Доно-Медведицкой складчатой зоны [Копп, 2004а; Копп, Тверитинова, 2001] (см. ниже рис. 28), указывая на ее некоторое сжатие в поперечном к ней запад–северо-западном — восток–юго-восточном направлении и на ассоциирующее продольное удлинение ЮЮЗ–ССВ.

По поводу причин некоторого субширотного (ЗСЗ) сжатия Доно-Медведицких дислокаций, необычного на фоне общего субмеридионального сжатия данной части рассматриваемой территории, нами было высказано предположение о его присбросовой природе: оно, по нашему мнению, компенсировало происходившее рядом к востоку субширотное новейшее растяжение Прикаспийской синеклизы, особенно заметное, судя по расширению области ее плиоцен-четвертичного опускания к югу, как раз напротив Доно-Медведицкой зоны. Умеренность сжатия последней подчеркивается отсутствием взбросов (в отличие от Донбасса, а также Саратовских и Жигулевских дислокаций, которые деформировались при меридиональном сжатии) и присутствием послемеловых флексурных ступеней восточной экспозиции, спускающихся в виде каскада к Прикаспийской синеклизе (см. рис. 1 и Приложение 1).

Далее к северу — субширотные левосдвиговые изгибы осей валов — существенный элемент строения Керенско-Чембарских и Сурско-Мокшинских дислокаций [Копп, 2011б] (см. ниже рис. 30, 32, 33). Ориентировка и знак сдвигов показывают поперечное сжатие этих зон, ориентированное поперек Пачелмскому прогибу — в северо-восточном направлении. Внутри них, особенно на востоке, отмечаются признаки компенсирующего продольное удлинение складчатых зон движения масс к ЮВ, в сторону Прикаспийской синеклизы: оно выражено приуроченностью к южным крыльям левых сдвигов антитетических подворотов смещаемых складок и появлением новообразованных мелких поперечных складок меридиональной ориентировки [Копп, 2011б].

Еще севернее выраженные в кулисности валов правые и левые сдвиги осложняют борта Вятских дислокаций (мегавала), рассматриваемых нами в качестве сжатой на севере и раскрывающейся к югу вынужденной виргации (рис. 16). Сдвиги привели к ее особенному сжатию и сужению на ССВ, в районе Сырьян и, возможно, к компенсационному выжиманию (между сдвигами противоположного знака) масс к югу и юго-западу, в сторону соответственно Прикаспийской и Московской синеклиз [Копп, 2012].

На север–северо-востоке, в узкой «шейке» виргации, помимо кулисности отмечаются и колленообразные горизонтальные флексуры левосдвигового типа, причем они искривляют не только линии сразу нескольких валов (Сырьянского, Иванцовско-Гавриловского, Сысольского и Вожгальского), но и находящейся восточнее Созимско-Чернохолуницкой синклинальной депрессии — что в совокупности указывает на однозначность определения сдвигов и их знака (рис. 17). Амплитуды присдвигового искривления осей некоторых структур достигают 3–4 км, а субмеридиональное (ССЗ–ЮЮВ) простираение левых сдвигов указывает на поперечное Вятскому мегавалу запад–северо-западное — восток–юго-восточное сжатие.

Другая, очень существенная, особенность новейших макроструктур, также, в свою очередь, свидетельствующая о горизонтальной компоненте движений, но только в вертикальном разрезе, — *дисгармония структур чехла и фундамента* — проявляется в двух главных видах.

В случае прямого выражения платформенных валов в разных горизонтах чехла (особенно там, где он утонен) амплитуды валов и осложняющих взбросов снижаются к поверхности — причем настолько постепенно, что исключается влияние угловых несогласий. Это наглядно выражено на сериях (до десятка) структурных карт, построенных по многочисленным реперам внутри чехла для детально разбуренных Жигулевских и Саратовских дислокаций [Казьмин и др., 1983; Машкович и др., 1970] (см. ниже рис. 21). Дисгармония такого рода объясняет, почему возникшие при сжатии, с участием взбросов и сдвигов, структуры выполаживаются к поверхности, и, в то же время, связывает это явление с пассивным поведением чехла, нагрузка которого гасит глубинное сжатие, передающееся из зон коллизии на периферии ВЕП.

Об автономии структуры чехла от рельефа кровли фундамента свидетельствует и другой вид дисгармонии, проявляющийся в авлакогенах. В отличие от первого случая, там фундамент прогнут, и соотношения его кровли с зеркалом складчатости, возникшей при сжатии, здесь, напротив, является инверсионным, а часть складок чехла вообще не имеет корней в фундаменте [Государственная геологическая карта..., 1999; Копп, 2012] (см. рис. 7, а также рис. 19). В целом и там, и там автономное поведение фундамента и чехла при деформации было бы невозможно при действии фиксированного вертикального давления.

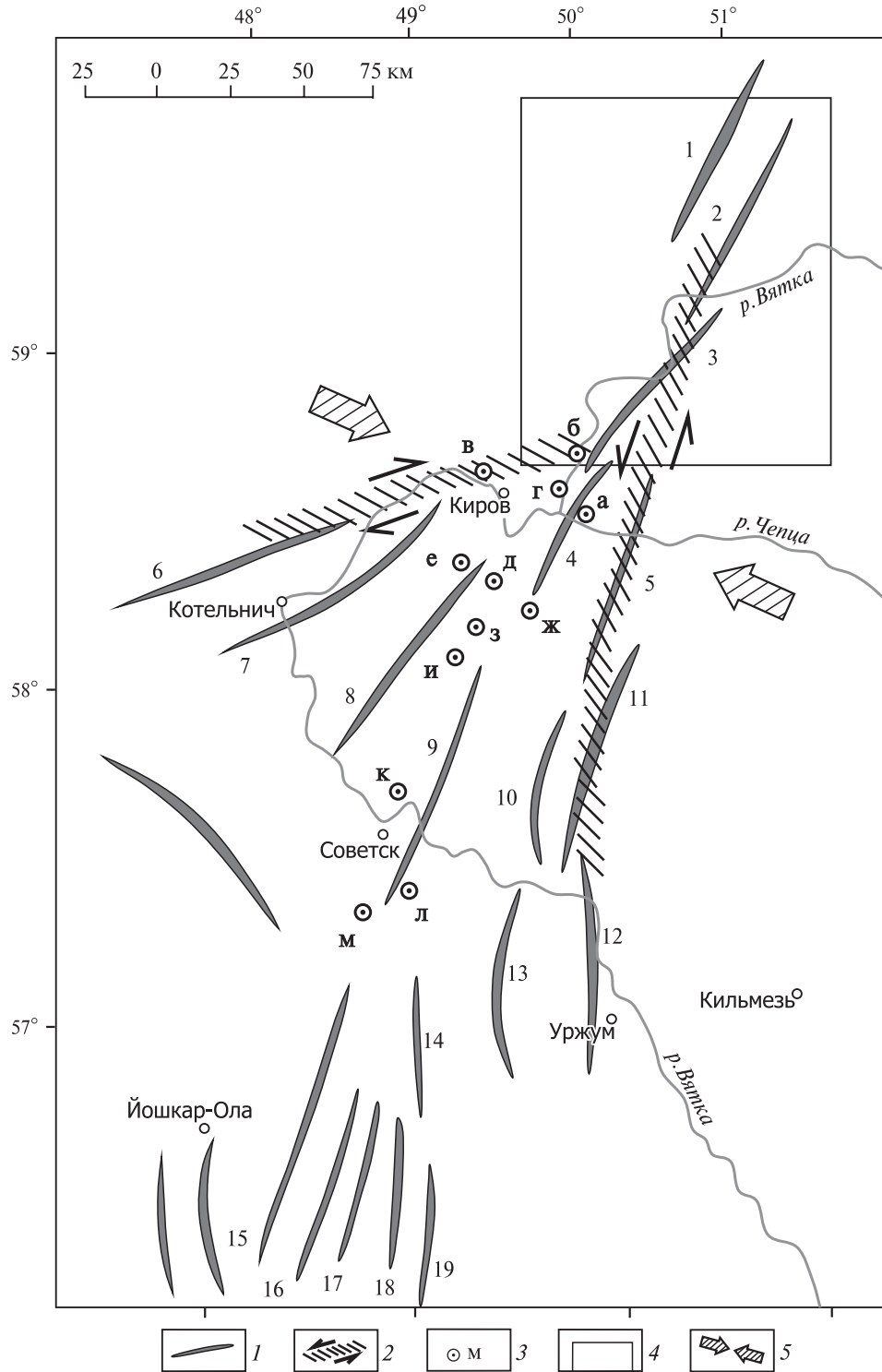


Рис. 16. Вятская складчатая виргация как результат проявления горизонтального сдвига; структурная основа — по [Государственная геологическая карта..., 1999], кинематическая интерпретация — по [Копп, 2012]

1 — оси валов: 1 — Сысольский, 2 — Иванцовско-Гавриловский, 3 — Сырьянский, 4 — Шихово-Чепецкий, 5 — Вожгальский, 6 — Ивкинский, 7 — Боровский, 8 — Верхнешижемский, 9 — Ивкинско-Кукарский, 10 — Чигиринский, 11 — Сунский, 12 — Уржумский, 13 — Самарсовский, 14 — Шургинский, 15 — Ронгинский, 16 — Куженерский, 17 — Юрдурский, 18 — Аринский, 19 — Уразлинский; 2 — сдвиговые зоны, трассируемые по кулисности расположения валов; 3 — точки мезотектонических наблюдений с их буквенными индексами (краткую характеристику точек см. на рис. 11 в работе [Копп, 2012]); 4 — контур рис. 17; 5 — направление регионального сжатия, по ориентировке сдвигов

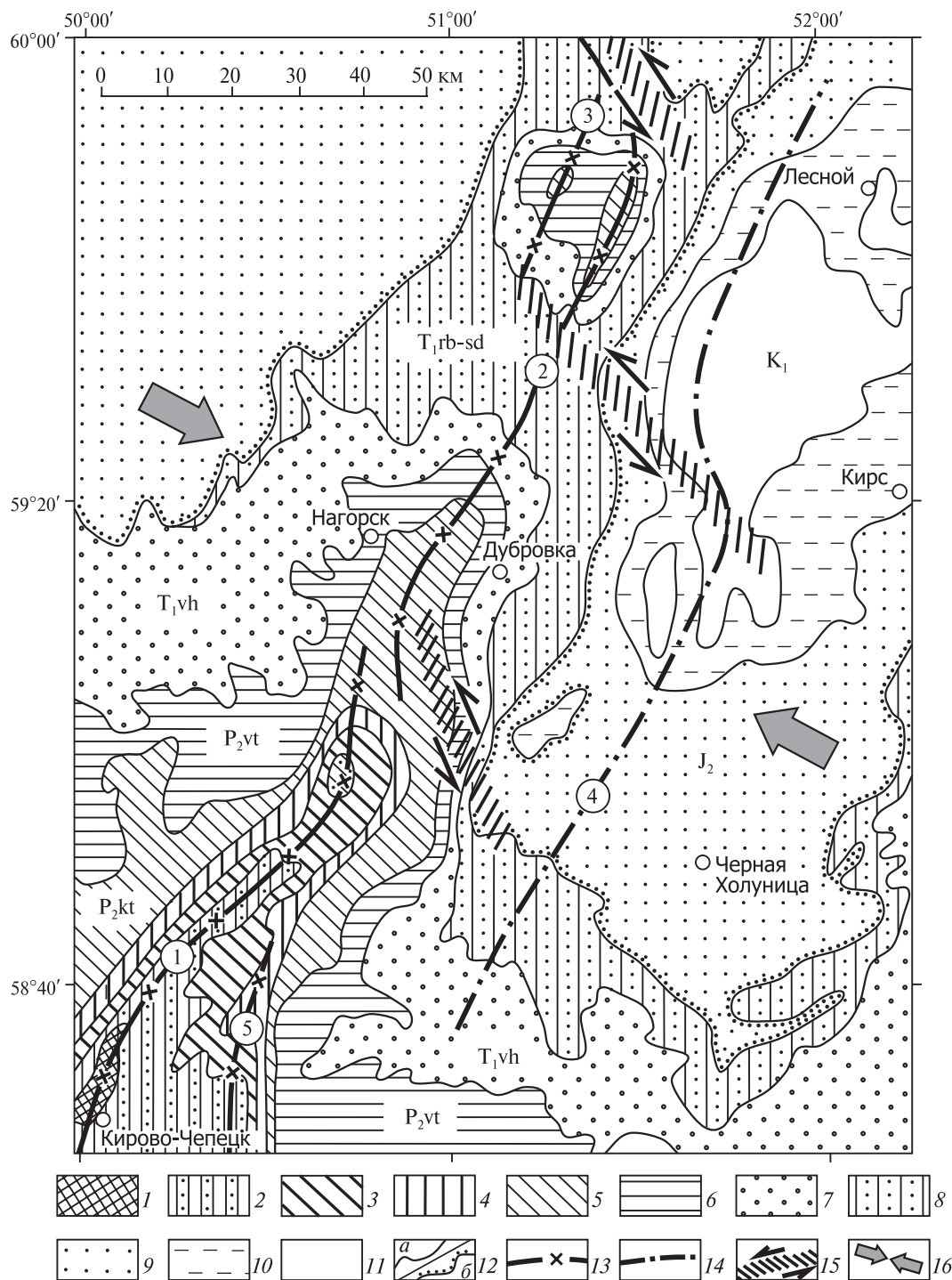


Рис. 17. Левые сдвиги на севере Вятских дислокаций: фрагмент геологической карты (по [Государственная геологическая карта..., 1999], с упрощениями)

Расположение участка см. на рис. 16.

1-6 — верхнепермские отложения: 1 — казанский ярус, 2-6 — татарский ярус: 2, 3 — уржумская серия нижнего подъяруса, подсерии (2 — нижняя, 3 — верхняя), 4-6 — верхний подъярус, горизонты (4 — северодвинский, 5 — котельнический, 6 — вятский); 7, 8 — нижнетриасовые отложения, горизонты: 7 — вохминский, 8 — рыбинский и слудкинский; 9, 10 — юрские отложения, отделы: 9 — средний, 10 — верхний; 11 — нижнемеловые отложения; 12 — геологические границы: *a* — согласные, *b* — трансгрессивные, 13 — оси валов: Сырьянского (1), Иванцовско-Гавриловского (2), Сясьского (3), Вожгальского (5); 14 — оси прогибов: Созимско-Чернохолуницкого (4); 15 — горизонтальные флексуры — расседоточенные зоны горизонтального сдвига; 16 — ориентация горизонтального сжатия, по простиранию левых сдвигов

Помимо этих двух повсеместно распространенных видов, отмечаются частные случаи дисгармонии, выраженной срывом, проскальзыванием и надвиганием крупных толщ верхней части чехла по остающимся субгоризонтальными слоям нижней — дисгармонии гравитационно-тектонического происхождения (вышеупомянутые Карлинские и подобные им локальные дислокации).

В заключение отметим, что доказанные по геологическим данным взбросо-надвиги и сдвиги, как структуры, в наибольшей степени могущие быть связанными с обстановкой сжатия, наилучшее выражение — как в смысле амплитуд по кровле фундамента, так и непосредственно на земной поверхности — имеют только на южном (кавказском) и восточном (уральском) краях Восточно-Европейской платформы, тогда как в глубь нее

их выразительность падает. В некоторой степени она поддерживается здесь только на меридиане Приволжской возвышенности, продолжающей к северу Транскавказское поперечное поднятие в его неотектоническом выражении — как линию максимального приложения коллизионного давления от Кавказского синтаксиса.

Что касается доказанных новейших сбросов (малоамплитудных, но многочисленных), то можно заметить их некоторую концентрацию только на западном и северном бортах Прикаспийской синеклизы, а также, насколько можно судить по единичным участкам, на южном борту Окско-Донского новейшего прогиба. Таким образом, макроструктуры растяжения образуют самостоятельные домены, изолированные от находящихся к югу и востоку доменов макроструктур сжатия.

Особенности методики анализа мезоструктурных данных

Вводные замечания

Для реконструкции поля напряжений использовались замеры элементов залегания мезоструктурных кинематических индикаторов разного механического типа: сколов (зеркал и борозд скольжения), отрывов (предпочтительно заполненных жилами или цементированной брекчией) и кросс-стилолитовых компрессионных швов. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием как стереограмм, так и компьютерных операций, но в основу обоих способов обработки данных был положен структурно-кинематический анализ сопряженных сколовых смещений [Гущенко, 1996, 1999], сформированных в едином поле напряжений (известный как метод Гущенко), однако особенности его применения и детальность результатов для двух упомянутых подходов различаются.

Полюсные кинематические стереограммы (где полюса трещин сопровождаются вектором смещения), составляемые для каждой точки наблюдения и обработанные по методикам О.И. Гущенко [1982] или В.Д. Парфенова [1984], демонстрируют наиболее тонкие черты поля деформаций, присущие отдельным частям изучаемой крупной структуры, но при этом для них характерен и наибольший разброс данных. Стереограммы другого вида — плотности мезоструктур разной кинематики, составленные в изолиниях, — обобщают материал уже для большого региона, иллюстрируя иерархию стресс-режимов и усредненную ориентировку главных осей деформации; однако они непригодны для изучения локальных

вариаций поля. Общий недостаток методов анализа стереограмм всех видов — приближенность определения ориентации и наклона осей напряжений. Результаты обработки стереограмм разного вида для многих частей рассматриваемой территории публиковались в ряде работ [Колесниченко, 2010, 2013; Копп, 2004а, 2005, 2012; Копп, Тверитинова, 1999, 2001; Копп и др., 2008, 2010 и др.].

Применение компьютерных программ помогает точнее реконструировать главные параметры поля напряжений/деформаций: ориентацию и наклон их главных осей, а также типы нагружения — стресс-режимы: горизонтального сжатия, или взбросовый, горизонтального растяжения, или сбросовый, а также горизонтального сдвига (сдвиговый), характеризующиеся разными значениями коэффициента Лоде-Надаи. Точная диагностика типа стресс-режима особенно важна при анализе динамики структурообразования именно на платформах, где набор необходимых макроструктурных данных недостаточен, а мезоструктурные (даже обработанные на стереограммах плотности трещин разной кинематики) — обычно демонстрируют большой разброс. Компьютерное моделирование позволяет выявить не только главные стресс-режимы, но и тонкие переходы между ними (например, режимы сдвиговой транспрессии или транстензии, а специально для платформ — характерный для них режим вертикальных перемещений (вертикального сдвига), или «взрезовой», при котором обе главные оси нормальных напряжений наклонены к горизонту).

Кроме того, компьютерное моделирование облегчает сепарацию интегрального массива данных на группы, соответствующие частным

полям напряжений: «фазам», или типам нагружения, действовавшим физически неодновременно, но совместимым и обладавшим постепенными переходами. Наконец, особое преимущество компьютерной обработки — возможность увидеть согласованную картину поля напряжений для крупных территорий. Между тем, неизбежная при компьютерном анализе генерализация данных иногда автоматически «отсекает» важные детали, заметные на стереограммах.

Компьютерный анализ

Теоретические основы структурно-кинематического анализа заложены в работах [Вировлянский, 1964; Гзовский, 1963; Гущенко, 1973, 1982, 1996; Кноринг, 1969; Корчемагин, Емец, 1987], а принципы составления алгоритмов для компьютера рассматриваются в [Васильев, Мострюков, 2000, 2001; Гущенко, 1982, 1996, 1999]. Использование ЭВМ обеспечивает, во-первых, возможность анализа крупных массивов информации (с объемом, лимитируемым только масштабом генерализации поля напряжений) и, во-вторых, возможность управления точностью вычислений для нахождения оптимальных решений.

В свою очередь, это облегчило выполнение упомянутой *сепарации интегрального множества данных на группы, соответствующие частным полям напряжений*: выделение из суммарного множества разноориентированных векторов смещения, регистрируемых в точке наблюдения, сопряженных парагенетических групп, соответствующих тем или иным стресс-режимам, и выявление последовательного ряда (инверсионной смены) последних [Васильев, Мострюков, 2000, 2001; Гущенко, 1982, 1996, 1999]. Инверсия выражена в «переиндексации» (смене знака) главных осей тензора напряжений — когда последние, при постоянстве своей ориентировки в пространстве, меняют относительную длину вплоть до изменения своего значения на 90° . Так, например, главная ось растяжения σ_1 при последовательном ослаблении растяжения вдоль нее укорачивается и превращается в промежуточную ось σ_2 ($\sigma_1 \leftrightarrow \sigma_2$), а последняя, укорачиваясь еще дальше, становится главной осью сжатия ($\sigma_3 \leftrightarrow \sigma_2$) и т.д. [Васильев Мострюков, 2001; Гущенко, 1982, 1996, 1999].

О.И. Гущенко [1996, 1999] подробно рассмотрел теоретические основы структурно-кинематического метода и обосновал последовательность его процедур применительно к реконструкции условий нагружения во времени. В зависимости от качества данных, компьютерный анализ позволяет выделить в каждом отдельном объеме пород или обнажении результаты действия от 1–2 до 4–6 сменявшихся механизмов нагружения, накапливавшиеся в виде сочетания мезоструктурных парагенезов разного типа.

Вопрос о конкретном возрасте реконструируемых подобным образом частных полей напряжений решается самостоятельно, но предварительно следует учитывать два возможных варианта:

1) эти поля и следы их действия принадлежат никак не связанным одна с другой тектоническим фазам или эпохам;

2) будучи физически разновозрастными, геологически они одновременны и вызваны общим источником напряжений, а их чередование во времени отражает конкуренцию сопряженных стресс-режимов.

Второй вариант предполагает взаимодействие осуществляющихся близко разных механизмов деформации с подвижной, пульсирующей границей их ареалов и в рассматриваемых условиях наиболее вероятен. Практически же наличие нескольких решений стресс-режима для какого-либо конкретного участка означало для нас необходимость выбора одного из них для включения в сводную карту — и здесь выбиралось то из них, которое более всего соответствует динамике деформации, определяемой по чертам макроструктуры.

Отдельных комментариев требуют *принципы генерализации данных* при построении разномасштабных карт поля напряжений. От ее уровня зависят не только геометрическая нагруженность карты символами и ее читаемость, но может измениться сам характер регистрируемого для заданного масштаба стресс-режима, а иногда даже ориентация осей напряжений. Для получения согласованной карты более мелкого масштаба нужно либо увеличить радиус палетки осреднения, либо генерализовать сами выборки первичных данных путем отсечения векторов, не согласующихся между собой и с главным стресс-режимом.

По первому пути генерализация осуществляется методом скользящего окна, и в на-

шем случае, где плотность точек наблюдения сильно варьирует на площади, применялись окна с радиусом круга осреднения в широком диапазоне — от $0,3^\circ$ до 3° . При использовании данной операции поле векторов выглядит хорошо организованным («сглаженным»): они выстраиваются субпараллельно друг другу с одинаковыми интервалами. Итоговая карта легко читается и подчеркивает доминирующий деформационный стиль (см. рис. 4 и ниже рис. 22).

Однако при сильном разбросе данных увеличение окон осреднения автоматически приводит к нежелательным результатам: оно требует расширения поля синтезируемых динамических символов на гораздо большую, нежели то было в процессе наблюдений, площадь экстраполяции. Это затрудняет сопоставление результатов реконструкции с известными структурами (и данными других методов наблюдений), а, кроме того, возникает иллюзия высокого ранга реконструируемых параметров поля напряжений и его однородности.

Подобным способом генерализованы данные для южной половины ВЕП [Копп, 2004а], а также Южного Урала (и там и там — обработка О.И. Гущенко — см. рис. 4 и рис. 22). Поскольку в пределах проанализированных таким образом районов точки наблюдения были расположены более или менее равномерно, а поле напряжений оказалось относительно однородным, применялись палетки с низким ($0,3-1^\circ$) радиусом осреднения, благодаря чему искажение топографической привязки получилось невелико. Это позволило включить соответствующие результаты в публикуемую здесь итоговую карту (см. рис. 1 и Приложение 1). Зато для Урала–Мугоджар, где материал собирался в узких кайнозойских прогибах, а разброс результатов оказался гораздо бóльшим, данный способ генерализации, с большим (3°) радиусом осреднения, привел к искажению топопривязки векторов: они распространились за пределы площадей маршрутов, широко захватив палеозойское ядро Урала. В итоге карта, будучи наглядной в отношении главных черт поля напряжений, нивелирует его детали, уступая стереограммам (ср. рис. 22 с рис. 4 и 5 в [Копп, 2005]).

Поэтому, чтобы добиться большего правдоподобия и информативности карты, для отдельных частей Урала пришлось пересчитать соответствующие результаты вторым из

указанных способов. Смысл его заключается в составлении выборок (разновеликих) данных об ориентировке динамических векторов для наиболее сближенных точек наблюдения. Количество замеров в каждой такой выборке для главной карты составляло до 100–150, а для карт-врезок большего масштаба — 70–100. Выборки размещались так, чтобы изучаемые структуры были охарактеризованы равномерно (с некоторым сгущением в их узловых участках), а географические координаты выборок рассчитывались путем интерполяции координат реальных пунктов наблюдений.

Такой подход к генерализации обеспечил достаточно высокую статистическую устойчивость результатов реконструкции, и, кроме того, последние легче сопоставляются с местоположением и простираемостью изучаемых структур. Применение данного способа генерализации позволило выявить проявления сдвигового режима для Южного Урала и Мугоджар, а также иерархию разноранговых полей напряжений для севера рассматриваемой платформенной территории (Вятские и Керенско-Чембарские дислокации, Приуралье) и ряд других важных деталей новейшей деформации. Недостаток способа — большой разброс ориентировок динамических символов и, как следствие, — их скученность, местами затрудняющая чтение карты.

Геологический возраст кинематических индикаторов

Как говорилось выше, бóльшая часть мезоструктурного материала собрана нами в породах верхней юры — эоцена, а кое-где — неогена–квартера, в местах же их отсутствия наблюдения приходилось проводить в палеозойских породах чехла. Если результаты, полученные для верхов мезозоя, еще можно экстраполировать на кайнозой, то для палеозоя это уже требует комментариев: герцинско-раннекиммерийское сжатие Урала и Скифской плиты в принципе могло распространиться и на ВЕП, хотя бы на ее соседние части. Собственно, традиционно так и считается: во многих работах платформенный чехол разделяют на структурные этажи (каледонский, герцинский, альпийский, а иногда и киммерийский), имея в виду связанные с соответствующими тектоническими циклами различия в характе-

ре и степени деформированности. Кроме того, широко распространено мнение об унаследованности кайнозойских структур от более древних, а также об их постепенном росте в течение всего фанерозоя.

Между тем анализ литературно-картографических материалов, и в том числе последних данных ГДП-200, не подтверждает точку зрения о распространении палеозойского сжатия на соседние платформенные территории ВЕП — ни со стороны Урала с востока, ни от Скифской плиты и герцинского ядра Большого Кавказа с юга (подробнее см. в [Копп, 2011в, 2014]), если, конечно, не считать зоны Уралтау — подвергнувшегося коллизии скучиванию восточного края континента Балтика. На юге связанное с закрытием Палеотетиса герцинско-киммерийское давление охватило Большой Кавказ, Скифскую плиту и восток Днепровско-Донецкого авлакогена (Донбасс, Кряж Карпинского), однако севернее, в районе современной Доно-Медведицкой зоны дислокаций, никаких следов ни герцинского, ни киммерийского орогенеза уже не видно: верхнемезозойские слои там деформировались в послемеловое время. То же самое отмечается и в направлении с востока на запад, со стороны Урала: герцинские складки затухают в Предуральском прогибе, практически отсутствуя у его западного борта.

Утверждая это, мы, конечно, нисколько не подвергаем сомнению наличие разделяющего герцинский и альпийский структурные «этажи» регионального предсреднеюрского несогласия в пределах Русской плиты, но оно пологое и носит только географический, но не структурный характер: слои ниже и выше его поверхности везде смяты совместно в альпийскую эпоху (рис. 18 и 19).

Следовательно, это несогласие на платформе отражает только ее общее геократическое поднятие вместе с окружающими орогенами и платформами в составе всей Пангеи, но никоим образом не в виде сжатия и формирования частных структур в ее пределах (если не считать диапиров, а также конседиментационных валов, облекающих рифы, и т.п.). Таким образом, смятие авлакогеновых чехлов Русской плиты произошло не раньше середины или даже конца мела, во вторую половину альпийского этапа.

Другое дело, что из-за неполноты разреза верхнемезозойско-кайнозойских отложений

конкретный временной интервал этого смятия не всегда точно определяется. Так, судя по строению Сурско-Мокшинских, Жигулевских, Саратовских дислокаций, а также Промысловско-Цубукского и Сальско-Маньчского валов, основное сжатие чехла соответствующей, большей, части востока Русской плиты пришлось на позднеальпийскую эпоху с нижним возрастным пределом — начало позднего эоцена (см. рис. 18, а также 13 и 14). В наиболее полных разрезах юга Прикаспия этот рубеж определяется более точно как позднемайкопское–предсреднемиоценовое время, т.е. конец раннего миоцена. Между тем для прогибов Зауралья некоторые авторы указывают существенно более ранний — раннеолигоценовый — нижний возрастной предел формирования складчатости [Лидер, 1960, 1964], на севере же Русской плиты для такой крупной зоны сжатия, как Вятские дислокации, ситуация позволяет достоверно определить только послераннемеловой возраст деформаций (см. рис. 19).

Интересный и не до конца объясненный факт — достоверные проявления умеренного ларамийского (предэоценового) сжатия и складкообразования, известные для районов Донбасса и Северо-Азовского вала Скифской плиты [Копп и др., 2010; Попков, 2001; Попов, 1963; Стомба, Стифенсон, 2000] (рис. 20). Однако попытка распространить влияние ларамийских движений еще дальше к северу практически на всю территорию востока Русской плиты [Nikishin, Ziegler et al., 1999] представляется недостаточно обоснованной и не подтвержденной последними материалами геологических съемок в Среднем Поволжье. Реальную северную границу ареала ларамийской фазы следует проводить только где-то южнее Пачелмского авлакогена и Саратовских дислокаций, а, возможно, она и не выходит за пределы Днепровско-Донецкого авлакогена.

Местонахождение источников этого ларамийского сжатия юга ВЕП и запада Скифской плиты представляет собой трудную проблему, и при этом со всей очевидностью эти источники вряд ли удастся найти на соседнем Большом Кавказе, учитывая несомненное отсутствие там складчатости соответствующего возраста [Копп, 2007а; Копп, Щерба, 1998]. Между тем, возможности для поиска имеются для районов к западу и северо-западу от Кавказа, где палеоценовые перестройки как раз охватили большие пространства.

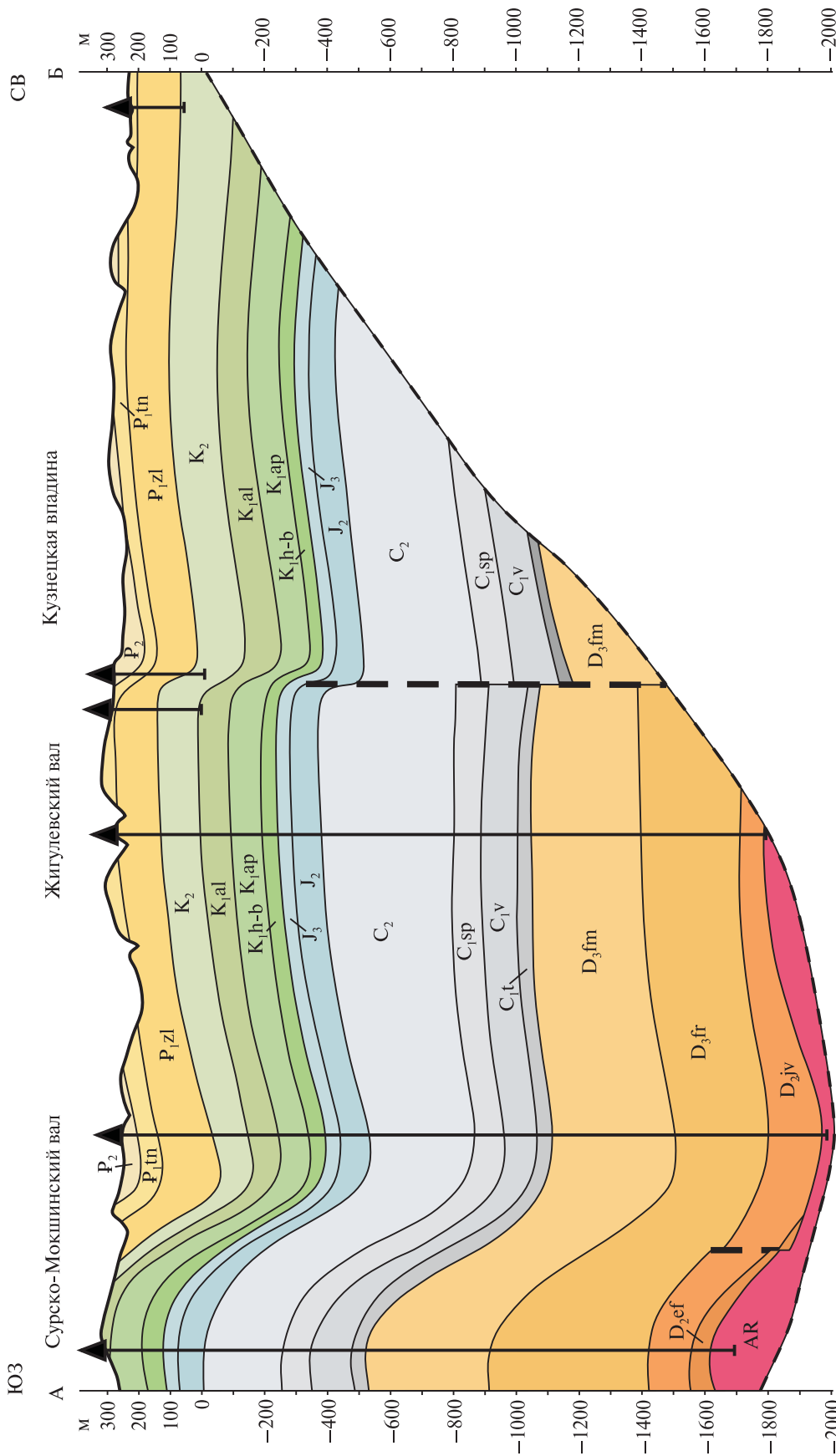


Рис. 18. Геологический разрез северо-восточного крыла Сурско-Мокшинского мегавала (на востоке) [Государственная геологическая карта... 2000]

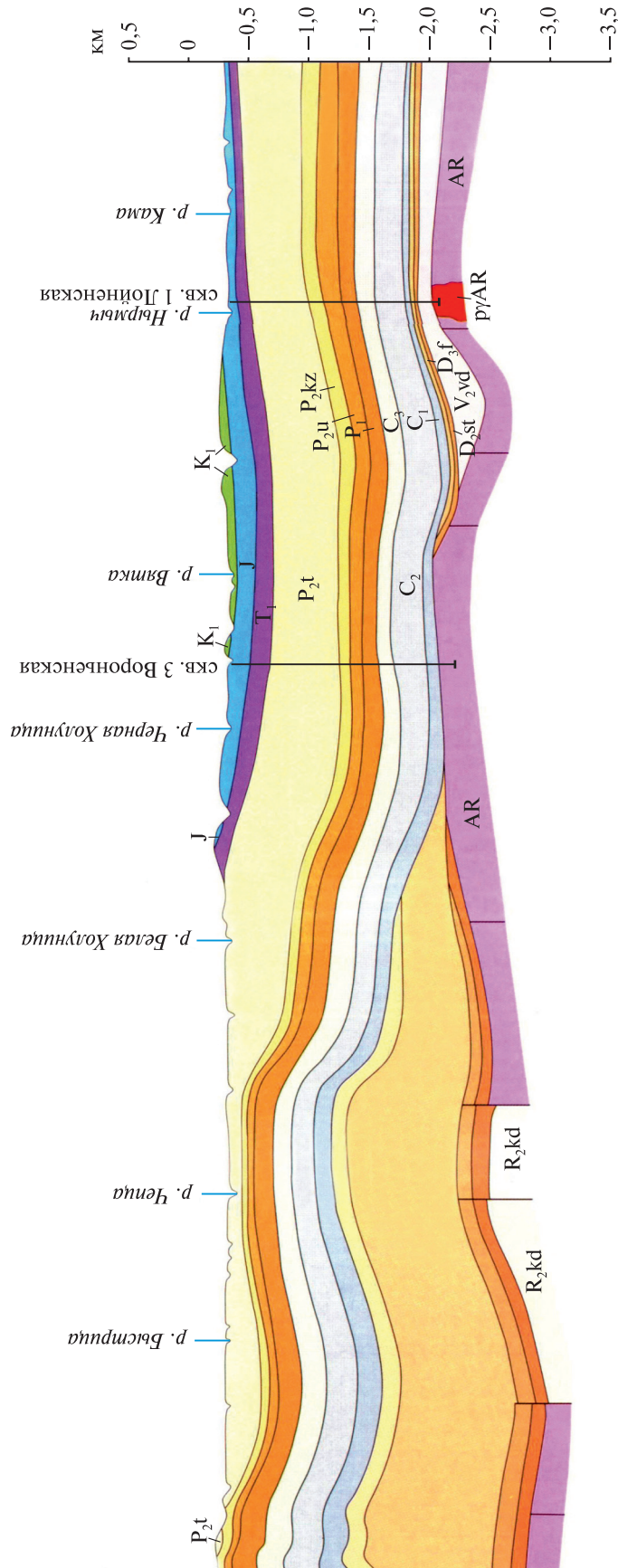


Рис. 19. Геологический разрез юго-восточного крыла Вятского мегавала (на севере) [Государственная геологическая карта..., 1999]

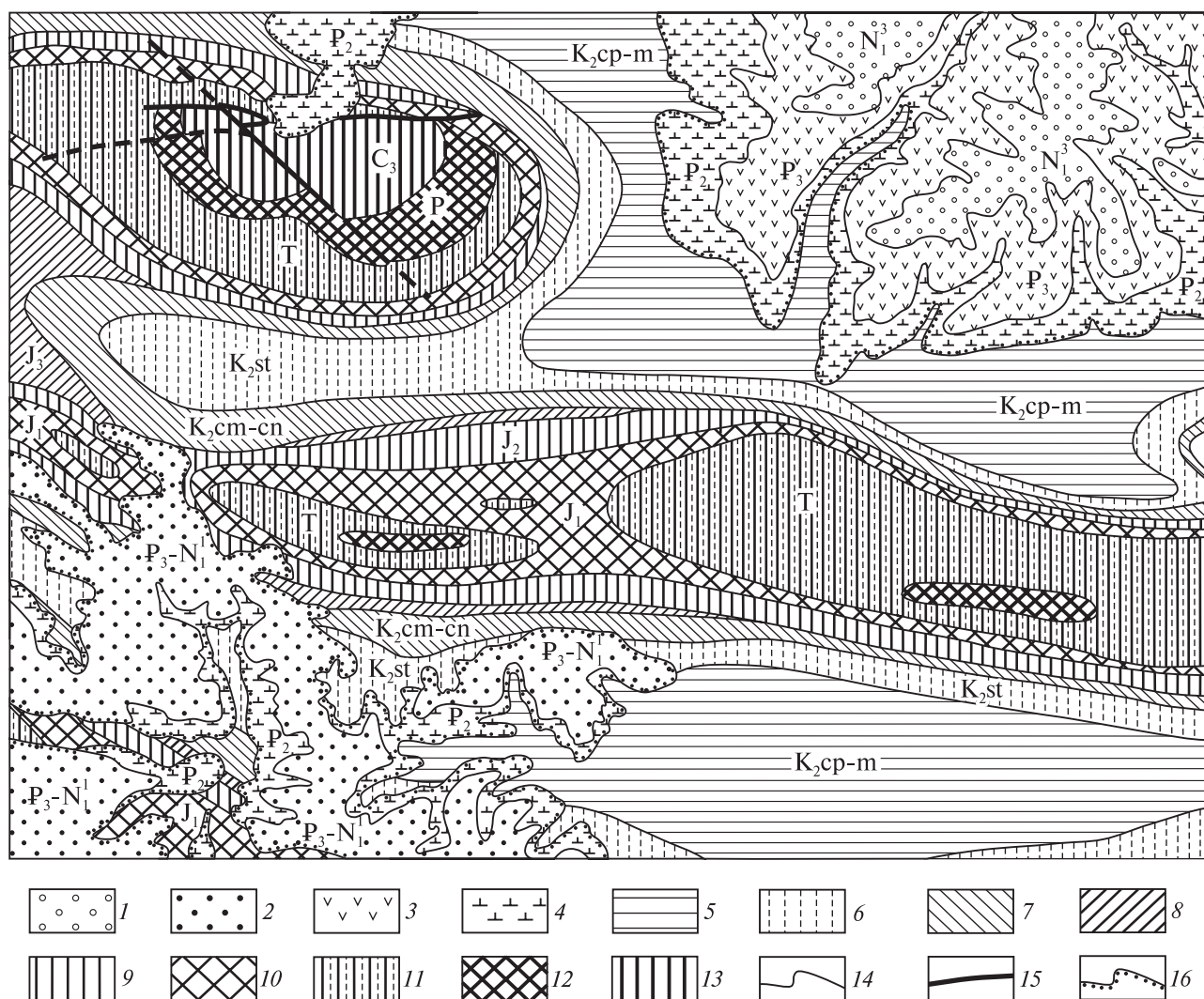


Рис. 20. Геологическая карта северо-запада Донбасса: Изюмско-Краснооскольская (на севере) и Дробышевская (на юге) антиклинали [Путеводитель..., 1975]

1 — верхний миоцен (сармат); 2 — верхний олигоцен — нижний миоцен; 3 — олигоцен; 4 — эоцен; 5 — кампан-маастрихт; 6 — сантон; 7 — сеноман-коньяк; 8 — верхняя юра; 9 — средняя юра; 10 — нижняя юра; 11 — триас; 12 — пермь; 13 — верхний карбон; 14 — геологические границы; 15 — разрывы; 16 — несогласная подошва эоцена

Прежде всего, ларамийская фаза широко проявилась в коллизионных орогенах Западной Европы (Альпах, Динаридах), а также в Понте, и при этом коллизия плит, создавшая все эти орогены, на севере вызвала одновременную активизацию платформ Западной и соседней части Восточной Европы [Ziegler, 1987]. Тогда же, в палеоцене, скорее всего, из-за коллизионной блокировки западноевропейской части Евразийской литосферной плиты [Копп, 1999, 2004a] произошла катастрофическая проградация оси спрединга из Северной Атлантики в Арктику и, кроме того, возник трансконтинентальный правый сдвиг вдоль линии Торнквиста, со смещени-

ем по которому связывают присдвиговое смятие чехла Польского авлакогена [Jaroszewski, 1972], находящегося, заметим, непосредственно к западу от Днепровско-Донецкого. Ограниченная этим мегасдвигом на юго-западе и смещавшаяся по нему к юго-востоку Восточно-Европейская субплита вполне могла подвергнуться некоторому сжатию в своей фронтальной части (подробнее см. [Копп, 1999; Копп и др., 2010]). Наконец, тогда же, в палеоцене, произошло одновременное быстрое проседание Черноморской и соседней с Донбассом Азово-Кубанской впадин [Казьмин, Книппер, 1989; Клавдиева, 2007; Тектоника..., 1985; Finetti et al., 1988], и если оно сопровождалось

некоторым растяжением, то последнее, как это обычно бывает в рифтах, вполне могло аккомодироваться небольшим компенсационным сжатием по краям области растяжения.

Оставив в стороне эту интересную, но пока не решенную проблему, можно заметить, что в целом литературные данные о проявлении разновозрастных фаз складчатости показывают, что основные складчатые деформации платформенного чехла (включая его палеозойские слои) на востоке Русской плиты и Урале происходили только в альпийскую эпоху — в кайнозое. При этом большая часть этой территории, включающая Русскую плиту к северу от Днепровско-Донецкого авлакогена и Урал, деформировалась в позднеальпийскую эпоху: первая — с началом в конце раннего миоцена, а второй, — возможно, с началом уже в раннем олигоцене. Раннеальпийские (конкретно — ларамийские) движения в качестве главной структурообразующей фазы затронули в пределах рассматриваемой территории только восток Днепровско-Донецкого авлакогена, Донбасс и соседние части Скифской плиты.

Заканчивая обзор литературных материалов о возрасте рассматриваемых внутриплитных дислокаций, коснемся еще одной — весьма популярной, но при этом вызывающей критику [Копп, 2004а, 2014] точки зрения об их возникновении не в результате действия редких импульсных (разделенных длительными промежутками) фаз складчатости, а, напротив, при их устойчивом и постепенном формировании в течение всего фанерозоя. Не говоря о том, что подобную ситуацию чрезвычайно трудно представить на основе современных мобилистических представлений, она еще и не подтверждается необходимыми фактами.

При этом на самом деле несомненно лишь очень постепенное общее упрощение, выполаживание и даже полное затухание вверх структуры дислокаций на платформе: для многих промысловых районов оно однозначно доказано накопленными там массивами буровых и

геофизических данных. В поисках материалов по данному вопросу мы смогли ознакомиться с пакетами структурных карт, построенных по 10–20 близко расположенным в разрезе реперным горизонтам для самых разных участков рассматриваемой территории (Жигулевские, Саратовские дислокации, Бузулукская впадина, Вятские дислокации, южный «антиклиналь» Донбасса, Сальско-Манычский мегавал, Калтасинский авлакоген и др.).

И везде просматривается одна и та же тенденция: валы и складки вверх по разрезу постепенно выполаживаются, а иногда и вообще затухают, а глубинные разрывы, секущие кровлю фундамента, теряют в амплитуде либо замещаются флексурами (см., например, рис. 21, где из серии многочисленных структурных карт по разным срезам выбраны только две). Вывод же из этого факта, если авторами и делается, то обычно только в том плане, что в данном случае происходит постепенное (во времени) снижение тектонической активности. Это утверждение было бы доказанным при наличии фактов угловых несогласий (при этом на очень частых уровнях), а также разрывов, базальных конгломератов и т.п. Однако никаких примеров такого рода не приводится, и в этом даже трудно винить авторов, так как и на самом деле найти такие соотношения действительно сложно, учитывая ограниченные возможности методик глубинных построений.

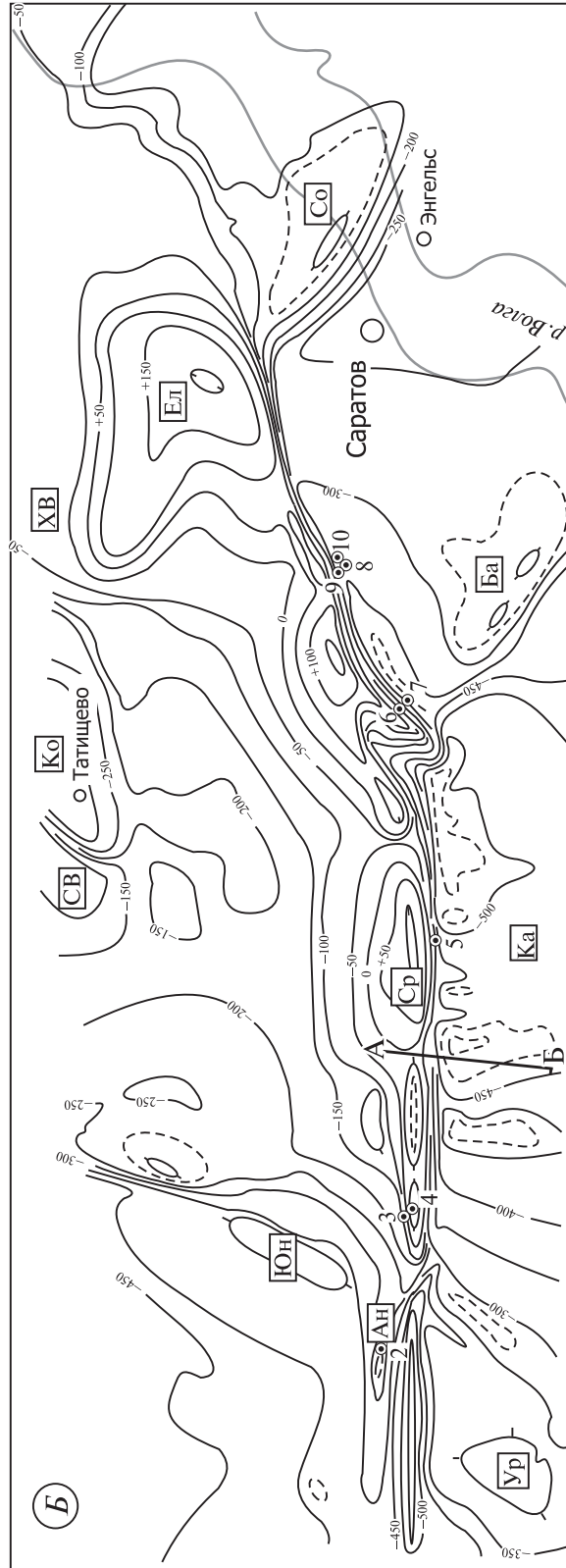
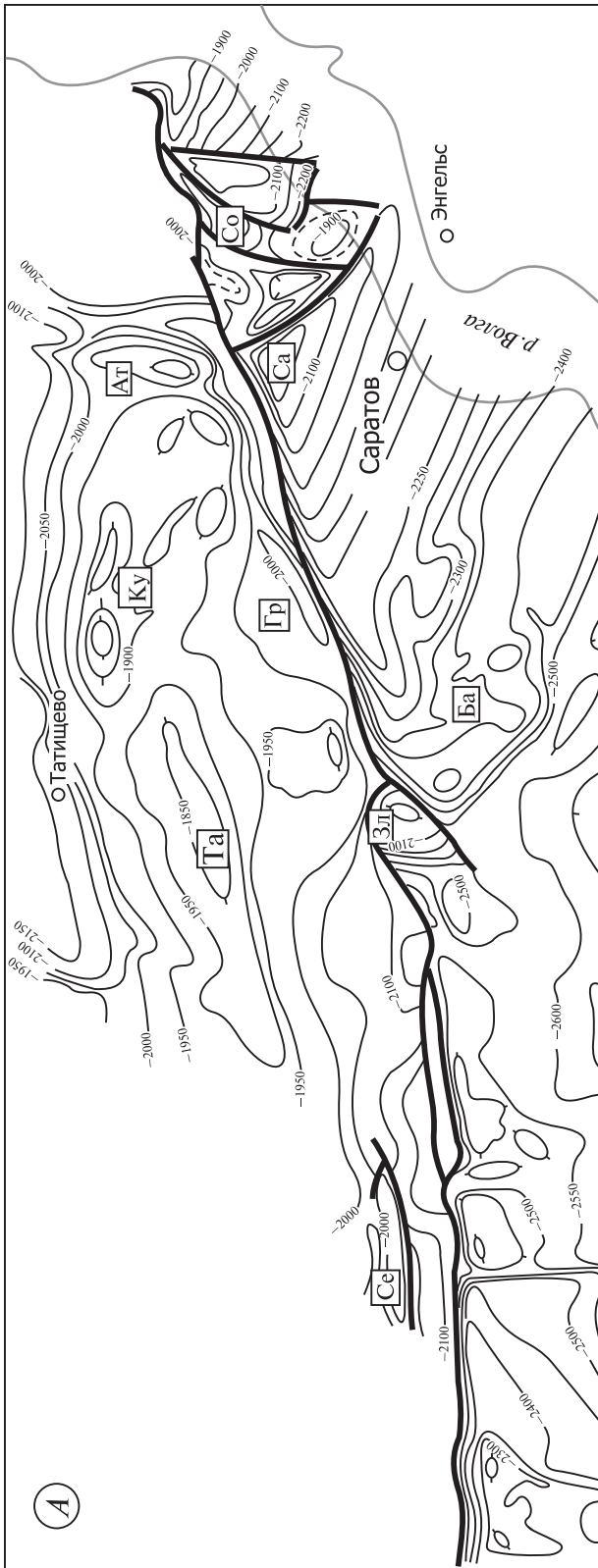
Если же, как мы уже неоднократно обращали на это внимание [Копп, 2004а, 2014; и др.], исходить из того, что затухание структуры дислокаций вверх связано только с глубиной источника напряжений, которые вверх от фундамента постепенно затухают сами по себе под весом осадков остающегося пассивным чехла, то тогда проблема снимается сама собой и отпадает необходимость привлечения плохо доказуемых с геологической точки зрения рассеянных несогласий: упрощение и затухание вверх глубинных структур сжатия предстают уже не только возможными, но и необходимыми.

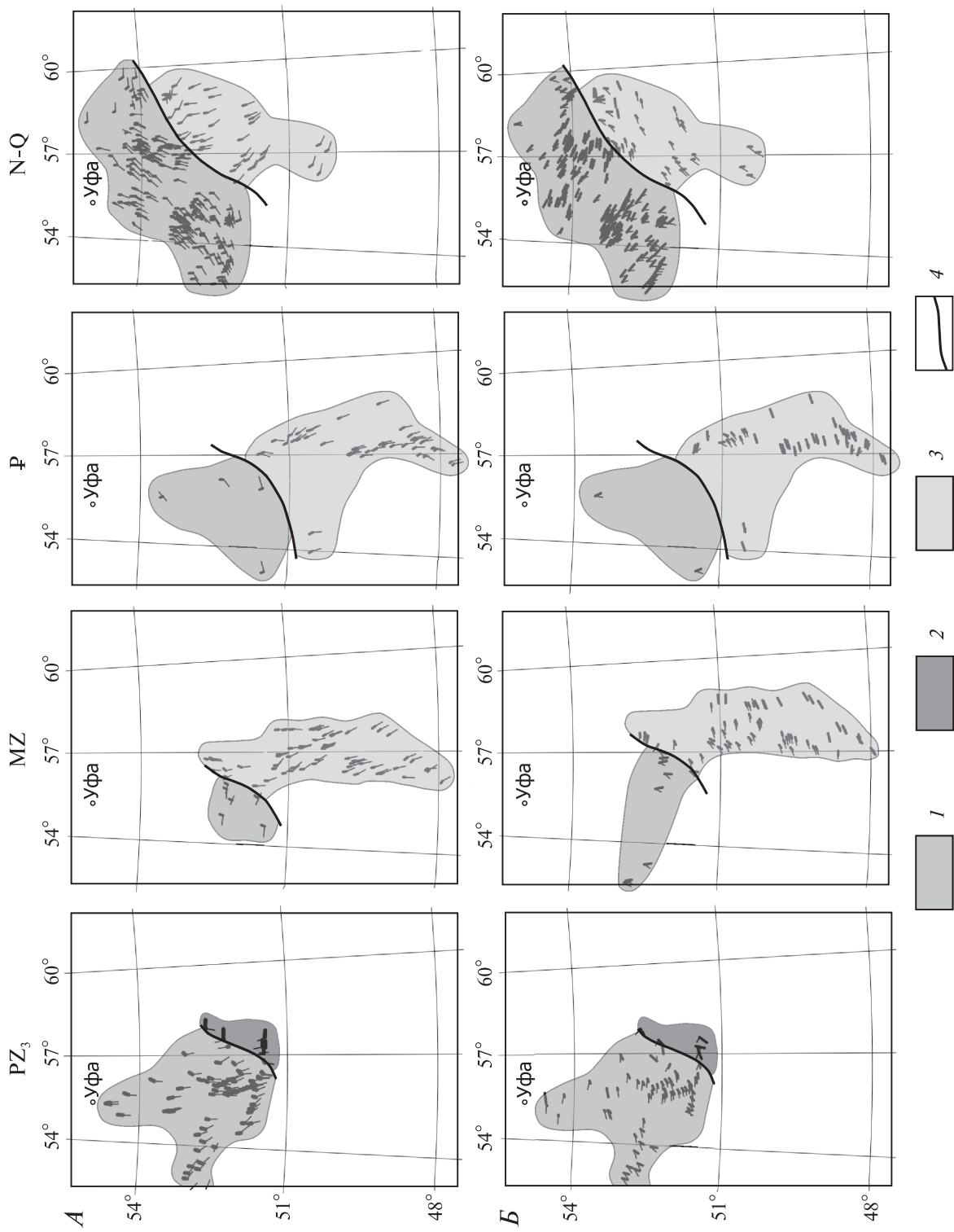
⇒

Рис. 21. Упрощение вверх структуры Саратовских дислокаций [Горьков, 1979], иллюстрируемое структурными картами по разным горизонтам: по кровле девона (А) и по кровле батского яруса юры (Б)

1 — стратоизогипсы (а — основные, через 50 м, б — дополнительные); 2 — разрывы; 3 — точки мезоструктурных наблюдений и их номера; 4 — линия профиля.

Наименования структур: на А — антиклинали: Ат — Атамановская, Ба — Багаевская, Гр — Грузиновская, Зл — Злобинская, Ку — Курдюмовская, Са — Саратовская, Се — Североозерская, Со — Соколовогорская, Та — Татищевская; на Б — антиклинали: Ан — Андреевская, Ба — Багаевская, Ел — Елшанская, СВ — Слепцовский вал, Со — Соколовогорская, Ср — Суровская, Ур — Урицкая, ХВ — Хлебновский вал, Юн — Юнгеровская; синклинали: Ка — Карамышская, Ко — Корсаковская





Приведенные выше регионально-геологические доказательства и связанные с этим общие соображения свидетельствуют в пользу кайнозойского возраста послепермских кинематических индикаторов. Кроме того, это нами доказывается и прямым сравнением результатов определения параметров поля напряжений, зафиксированных в палеозойских породах чехла, с соответствующими данными для более молодых пород. Так, для Южного Урала и соседних частей ВЕП анализировались данные раздельно для перми, верхней юры — мела, эоцена, складчатого неогена и, в Зауральской новейшей структурной террасе, — горизонтально залегающих слоев квартера.

На рис. 22 видно принципиальное различие полей напряжений, зафиксированных в платформенных чехлах востока ВЕП (меридиональное укорочение и широтное удлинение) и Урала (меридиональное, с отклонениями до 30°, удлинение, с поперечным укорочением).

Однако для результатов, относящихся как к платформе, так и к Уралу, существенная разница в ориентации напряжений для разновозрастных пород чехла отсутствует. Подобная корреляция однозначно свидетельствует о кайнозойском (новейшем, судя по деформированности эоценовых и неоген-четвертичных пород) возрасте кинематических индикаторов в уральских прогибах. При этом широтные векторы сжатия, полученные по смятым в складки слоям палеозоя в Предуральском прогибе, несомненно, отражают его герцинскую деформацию.

В других местах (Павловский карьер на Воронежском массиве, Тулвинская возвышенность Приуралья) по стереограммам плотности трещин разного типа сравнивалась кинематика тех из них, которые замерялись в палеозойских и мезозойско-четвертичных слоях (рис. 23). Оказалось, что и там, и там преобладают близкие кинематические пара-

генезы, на основании чего для обоих районов сделан вывод о кайнозойском (скорее всего, новейшем) возрасте поля напряжений, восстановленного по замерам в породах палеозоя указанных участков [Колесниченко, 2010, 2013; Копп, 2004а; Копп и др., 2000, 2008]. Подчеркнем, однако, что подобные хорошие совпадения отмечались только для пород чехла. В то же время, попытки вычленивать составляющую новейшей деформации в сложно деформированных породах фундамента — как палеозойского (древний Урал), так и докембрийского (Павловский карьер) — оказались малоуспешными, хотя некоторые соображения на этот счет возможны [Копп, 2004а; Копп и др., 2000]. От массы прекрасно выраженных в породах фундамента и явно древних штриховок с пленками амфиболов и хлорита на зеркалах скольжения, предположительно относимые нами к новейшим штриховкам отличаются низкотемпературным (халцедон, кальцит) заполнением и худшей выраженностью штрихов скольжения. Подчеркивая относительность указанных критериев, отметим все же, что именно эта группа мезоструктур по ориентации кинематических индикаторов в несколько большей степени соответствовала замерам в породах чехла [Копп, 2004а; Копп и др., 2000].

Итак, можно сделать общий методический вывод относительно возраста кинематических индикаторов в породах платформенного чехла: независимо от возраста последних, собранный в них мезотектонический материал везде пригоден для исследования кайнозойского поля напряжений/деформаций и отвечает, таким образом, целям настоящего исследования. Но, учитывая несколько различающийся возраст главной (в пределах кайнозоя) складчатости в тех или иных частях рассматриваемой территории, а также неодинаковую полноту кайнозойского разреза, можно сделать заключение, что полученные данные мо-



Рис. 22. Сравнение структуры поля напряжений Южного Урала, реконструированного для пород разного возраста

PZ₃ — верхнепалеозойских, MZ — мезозойских, P — палеоцен-эоценовых, N-Q — неоген-четвертичных (по О.И. Гущенко); площадка осреднения 3×3°.

A — горизонтальные проекции (векторы) главных нормальных осей сжатия и растяжения: утолщенные и тонкие линии соответственно; B — направления касательных напряжений правого и левого сдвига: утолщенные и тонкие линии соответственно.

1-3 — типы поля напряжений (стресс-режимы): 1 — горизонтальный сдвиг, 2 — взброс (горизонтальное сжатие) и взрез (вертикальный сдвиг), 3 — сброс (горизонтальное растяжение); 4 — границы стресс-режимов

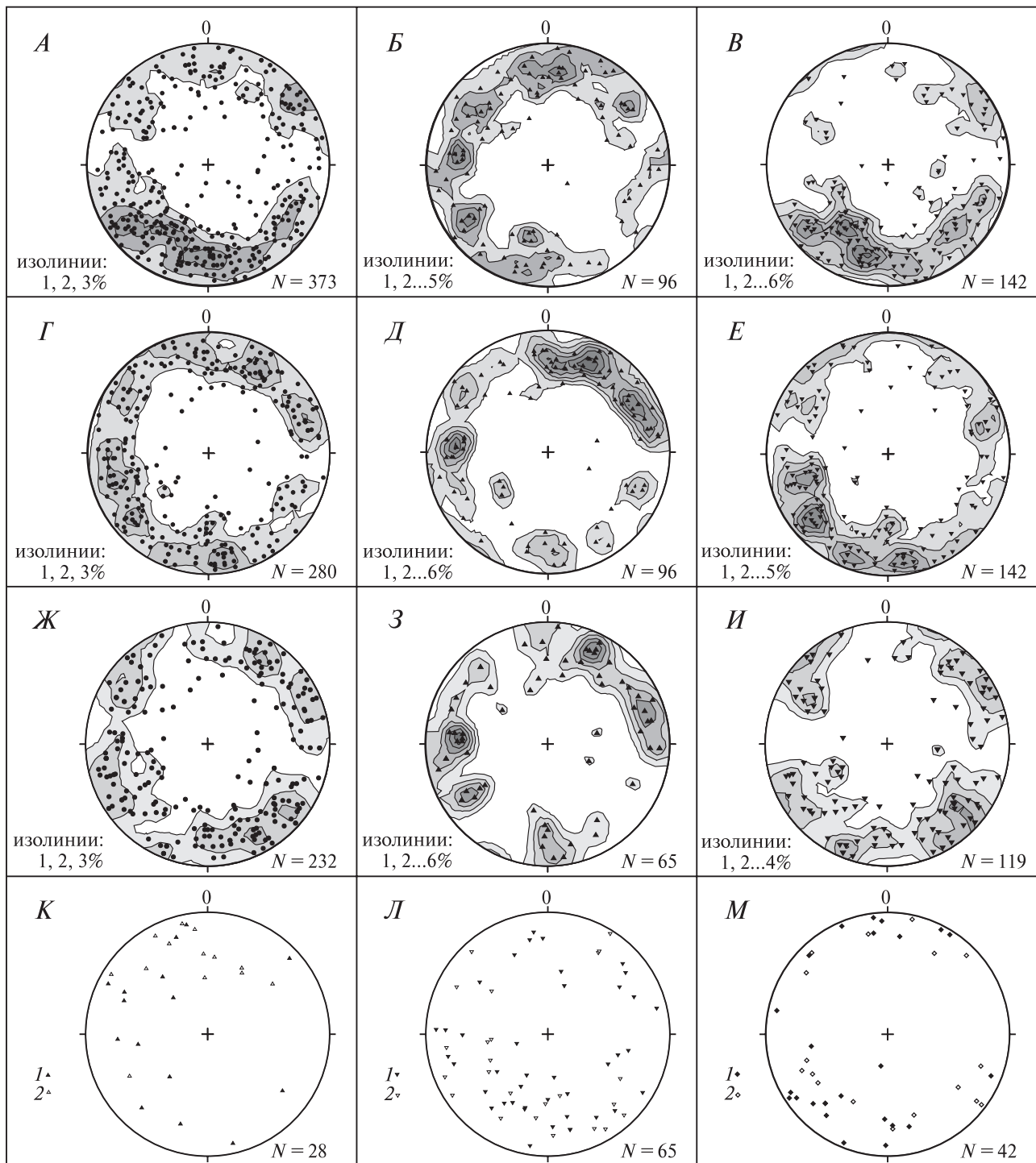


Рис. 23. Сравнение стереограмм плотности мезоструктур разной кинематики (обозначены точечными фигурами разной конфигурации) в пермских и четвертичных породах Тулвинского новейшего свода (проекция на верхнюю полусферу)

N — количество мезоструктур разной кинематики.

A-B — для пород перми: *A* — все мезоструктуры, *B* — взбросы, *B* — сбросы; *Г-Е* — для пород квартера: *Г* — все мезоструктуры, *Д* — взбросы, *Е* — сбросы; *Ж-М* — сводные для перми и квартера: *Ж* — все мезоструктуры, *З* — взбросы, *И* — сбросы; *К* — взбросо-сдвиги; *Л* — сбросо-сдвиги; *М* — сдвиги.

1, 2 — кинематика сдвигов: *1* — правосторонняя, *2* — левосторонняя [Копп и др., 2008]

гут характеризовать то ларамийские раннеальпийские деформации (район Донбасса и прилегающей части Днепровско-Донецкого авлакогена, где главные деформации предэоценовые, а основные наблюдения осуществлялись в породах мела); то предположительно савско-штирийские позднеальпийские (замеры в юре–эоцено уральских прогибов); то аттически-валахские позднеальпийские (основная часть востока Русской плиты и Предуральский прогиб); то кайнозойские без расчленения (Приуралье и Вятские дислокации, там и там — замеры могут производиться только в перми — нижнем мелу).

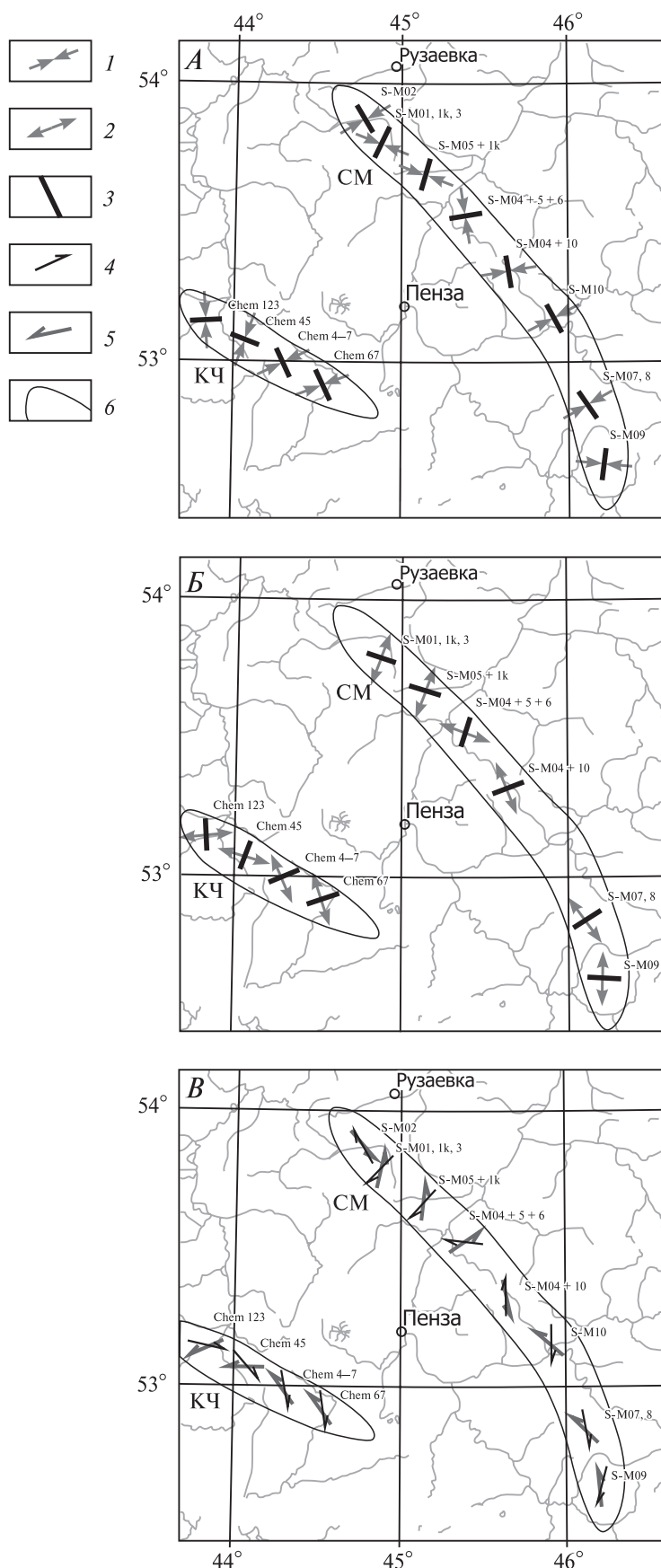
При этом в районах, где доказаны проявления относительно ранних складчатостей внутри кайнозоя (Донбасс, Урал) имеется возможность сравнивать наблюдаемое там главное поле деформаций с наложенными на него более молодыми. В Донбассе — это движения позднеальпийские савско-штирийские (замеры в слоях эоцена–олигоцена, несогласно перекрывающих ларамийские структуры) и аттически-валахские (по сарматским замерам), а в прогибах Урала — валахские и еще более молодые движения, характеризующие результаты мезоструктурных наблюдений в дислоцированных слоях акчагыла–апшерона (верхний плиоцен — эоплейстоцен) и горизонтально залегающих плейстоценовых лёссах и уплотненных песках Зауралья.

Собранный материал уже сейчас позволяет сделать некоторые выводы об эволюции кайнозойских палеострессов в рассматриваемой тер-

⇒

Рис. 24. Карты горизонтальных проекций (векторов) осей главных напряжений на участке Сурско-Мокшинских (СМ) и Керенско-Чембарских (КЧ) дислокаций для нормальных напряжений (*A* — для взбросового режима, *B* — для сбросового режима) и для касательных напряжений (*B*)

1–3 — оси: 1 — сжатия, 2 — растяжения, 3 — промежуточная; 4, 5 — сдвиги: 5 — правый, 5 — левый; 6 — контуры зон дислокаций.



ритории, но все же исследования в данном направлении требуют дальнейшего и более глубокого развития.

Итоговые картографические материалы

Для большей части территории с помощью компьютерных программ создана серия картографических моделей отдельно для каждого из нормальных и касательных напряжений, а также для двух-трех разновозрастных полей напряжений меньшего ранга (частных), которые могут быть выделены в каждом конкретном месте. Примеры некоторых таких карт приведены на рис. 24 (а также на рис. 71, 103

в [Копп, 2004a]); их комплект, при наличии, наиболее близко отражает особенности динамики крупных новейших структур.

Параллельно для всей рассматриваемой территории составлена единая генерализованная карта поля напряжений (см. рис. 1 и Приложение 1), на которой показаны горизонтальные проекции осей двух главных нормальных напряжений — оси наибольшего сжатия σ_3 (или, точнее, оси укорочения: в разных местах это либо действительно ось σ_3 , либо промежуточная ось σ_2 — при сбросовом стресс-режиме) и оси наибольшего растяжения σ_1 . Эта главная (тектодинамическая) нагрузка карты совмещена с элементами макроструктуры, содержащими информацию о кайнозойском напряженном состоянии (см. предыдущий раздел).

Кайнозойские напряжения по мезоструктурным данным

Результаты наблюдений по разным тектоническим регионам

Результаты реконструкции поля напряжений каждой части исследуемой территории рассмотрим по трем параллельным линиям, соответствующим его основным параметрам: типу стресс-режима, ориентации горизонтальных проекций (векторов) осей нормальных напряжений — сжатия и растяжения, а также наклону этих осей (на прилагаемых картах направлен от центральной точки динамического символа, угол наклона обратно пропорционален длине штриха). Тип стресс-режима читатель легко определит сам по взаимной конфигурации векторов динамического символа (рис. 25): взбросовый режим выражен существенно большей длиной вектора сжатия по сравнению с таковой вектора растяжения, а сбросовый — наоборот; при режиме горизонтального сдвига оба вектора примерно равновелики и расположены под большим, до прямого, углом; вертикальный сдвиг («взрезовой» режим) также узнается по примерно равновеликим векторам осей разного знака, но расположенным почти на одной линии, и это означает, что они наклонены противоположно под близким углом порядка 45° .

Для района Донбасса (*Донецкого складчатого сооружения* — ДСС) установлены следующие характеристики послемелового (ларамийского, см. выше) поля напряжений: примерно продольное растяжение ДСС в сбросовом и сдвиговом режимах в направлении от З–В до ЗСЗ–ВЮВ, с ССВ до меридионального, с почти поперечным ДСС (Ю–С до ЮЮЗ–ССВ), сжатием; среди

векторов сжатия и растяжения наиболее полными (т.е. в наибольшей степени характеризующими горизонтальную составляющую) являются первые из них, а направление наклона и тех, и других неустойчиво (см. рис. 1 и Приложение 1).

Такая картина получена в результате обработки на компьютере при наиболее высоких уровнях генерализации первичного материала, тогда как полученные ранее результаты обработки стереограмм (либо на компьютере, но с более низким уровнем генерализации) [Копп и др., 2010] позволяют увидеть некоторые существенные детали.

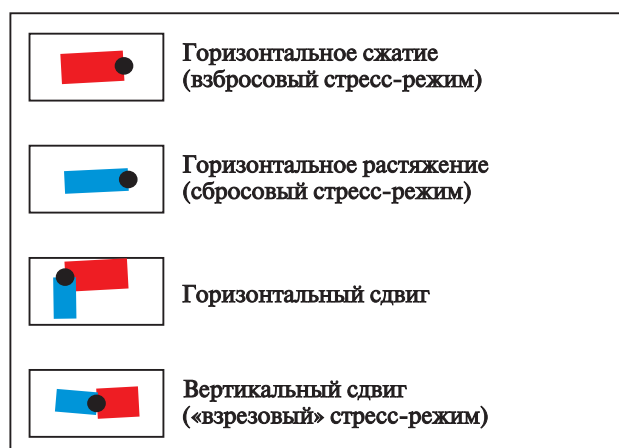


Рис. 25. Характерная для разных типов стресс-режима конфигурация векторов напряжений внутри динамического символа

Красный штрих — вектор главного сжатия или укорочения, синий штрих — вектор главного растяжения или удлинения; наклон каждой оси направлен в сторону от центральной точки символа, угол наклона обратно пропорционален длине штриха.

Пояснения см. на рисунке и в тексте

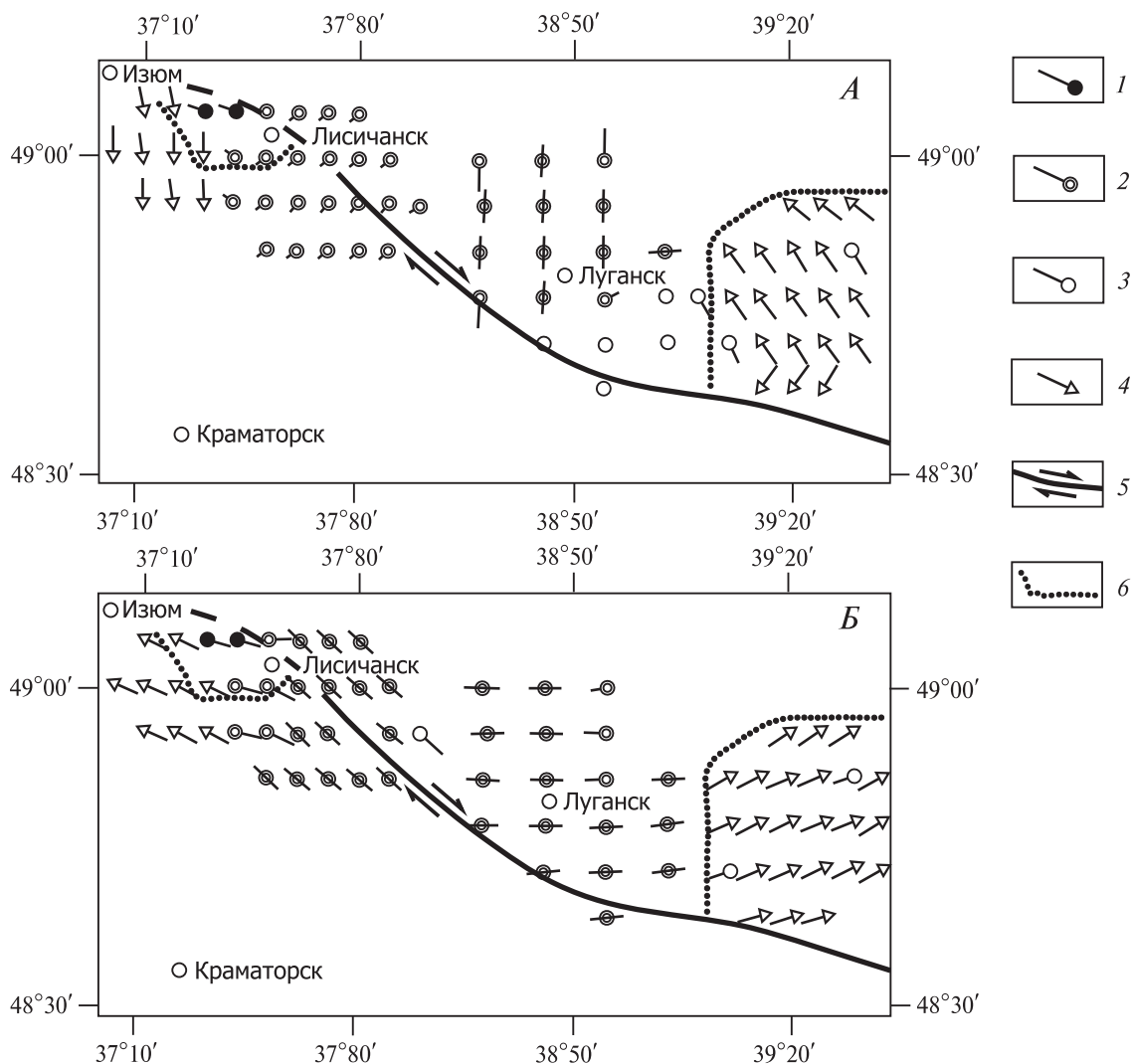


Рис. 26. Компьютерная реконструкция поля ларамийских и более поздних (?) напряжений Донбасса (районы Изюмско-Краматорской группы складок и Северодонецкого разрыва), выполненная по результатам мезоструктурных наблюдений в мел-палеоценовых породах (реконструкция «сглаженная», с палеткой осреднения $0,2^\circ$ для 50 замеров) для режима сжатия (А) и для режима растяжения (Б)

1–4 — векторы главных напряжений (наклон оси — от центральной точки символа, угол наклона обратно пропорционален длине штриха); типы стресс-режима обозначены по данным определения коэффициента Лоде-Надаи — режимы: 1 — взбросовый и взрезовой, 2 — сдвиговой, 3 — сбросовой, 4 — «октаэдрический» (все главные оси напряжений наклонены под приблизительно равными углами порядка 45°); 5 — линия Северодонецкого разрыва (изображена схематически); 6 — контуры квадрантов сжатия в зоне Северодонецкого разрыва

Так, оказалось, что диагональная по отношению к ДСС ориентировка сжатия и растяжения (рис. 26, А, Б) подтверждает (на новом материале) вывод о правом сдвиге вдоль ориентированного СЗ–ЮВ Северодонецкого взброса [Корчемагин, Емец, 1987]. На окончаниях последнего можно выделить согласующиеся с таким знаком разрыва квадранты сжатия и растяжения (см. рис. 26). Для параллельного западного отрезка Персиановского взброса данные неоднозначны: по разным выборкам, он выглядит то как пра-

вый сдвиг, то как сброс; последнее противоречит геологическим данным.

Впервые произведенные массовые мезотектонические замеры в третичных породах Тузловской (Северо-Азовской) впадины и на крыльях наложенного на докембрийский фундамент Украинского щита, поперечного к ДСС Волновахского новейшего вала северо-восточного простирания выявили постэоценовое (позднеальпийское) поперечное к нему северо-западное укорочение во взбросовом режиме и продоль-

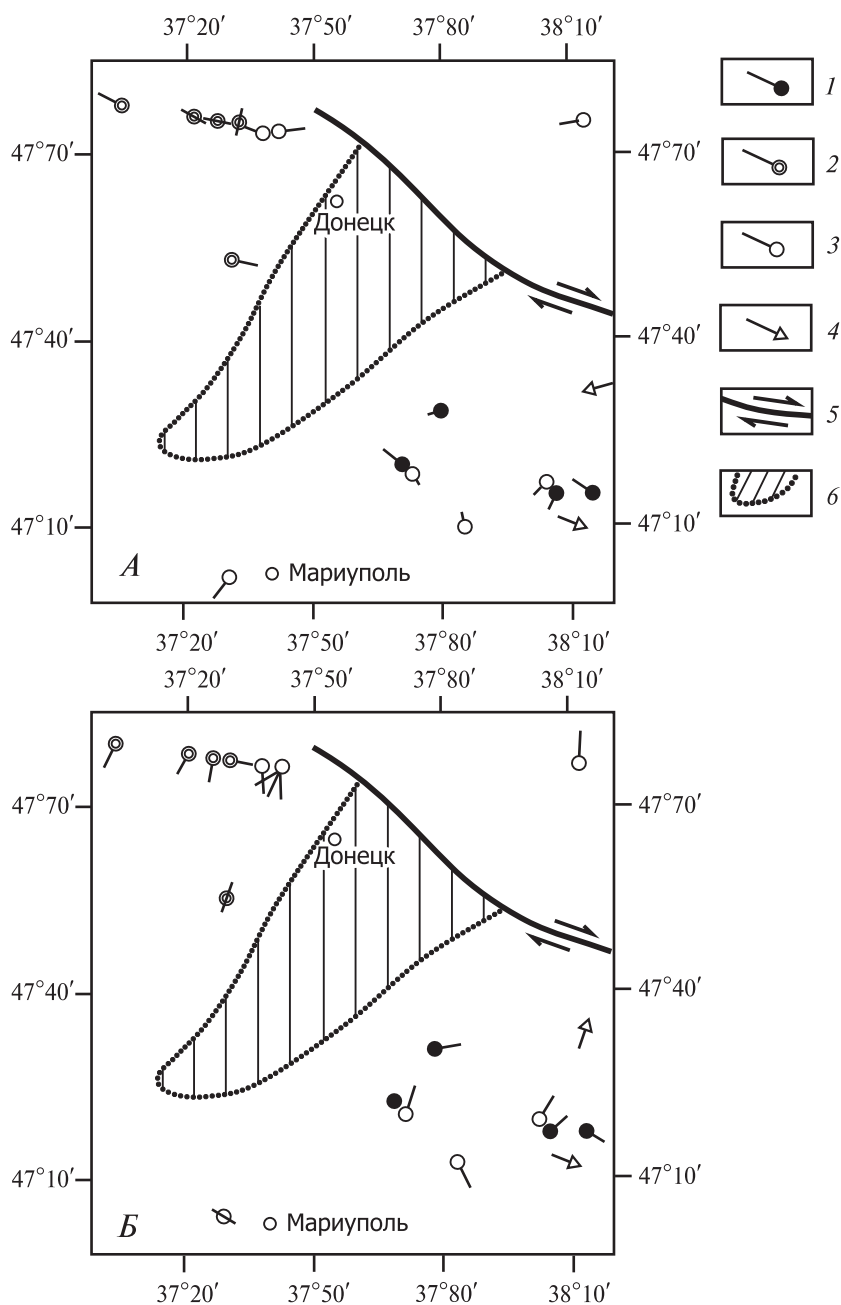


Рис. 27. Компьютерная реконструкция поля позднеальпийских (пост-эоценовых) напряжений Донбасса (районы Волновихского новейшего вала и соседних прогибов), выполненная по результатам мезоструктурных наблюдений в эоцен-олигоценых и верхнемиоценовых (сарматских) породах (реконструкция не «сглаженная» — без интерполяции данных на межточечные пространства) для режима сжатия (А) и для режима растяжения (Б)

Пояснения условных обозначений к знакам 1-4 см. на рис. 27; 5 — линия Персиановского разрыва (изображена схематически); 6 — контур Волновихского новейшего вала

ное растяжение — в сбросовом (рис. 27); последнее особенно четко проявлено на СЗ крыле вала. К востоку же, в неоген-четвертичной Туз-

ловской впадине, укорочение сменяется растяжением вдоль той же, северо-западной, оси, а также — установленным по субгоризонтальным (последовательным) тектоническим штриховкам в известняках сармата единообразным скольжением СЗ-ЮВ; то и другое позволяет рассматривать эту структуру вместе с Волновихским валом как сопряженную с ним структуру растяжения — динамопару. Можно предположить, что сжатие последнего компенсировало суммарный правый сдвиг ДСС по указанным разрывам, тогда как Тузловская впадина возникла при растяжении в тылу сдвинутого блока [Копп и др., 2010].

Таким образом, для района Донбасса подтверждается, но уже по мезоструктурным данным, участие в структуре правых сдвигов северо-западного простирания (как и в соседних Промышловско-Цубукском и Сальско-Маньчском валах, где молодые сдвиги доказаны геологической съемкой). Отметим также, что сравнение мезоструктурных парагенезов, установленных в Донецко-Азовском регионе для пород разного возраста, показывает общее изменение во времени динамической обстановки — от большого сжатия, по наблюдениям для писчего мела сенона-маастрихта (ларамийская фаза), к растяжению, — по пескам и алевритам эоцена-олигоцена и известнякам-ракушечникам сармата (верхний миоцен), для позднеальпийской эпохи. В породах палеогена растяжение чаще выражено образованием открытых трещин, заполненных железистым цементом, а в сармате — сбросовыми зеркалами скольжения.

На **Воронежском массиве** дислокации маломощных слоев чехла отсутствуют, но ярко выражены в рельефе западная и южная границы **Окско-Донского новейшего прогиба**, об-

разованные крутыми бортами долин бассейна Дона («Донской уступ»). На меридиональной западной границе в породах девона и мела четко фиксируется кайнозойское растяжение З–В (на севере — до СЗ–ЮВ), происходившее в сдвиговом и, кое-где, сбросовом стресс-режимах [Копп, 2004а; Копп и др., 2000]. Ось растяжения всюду наклонена к западу — от Воронежского массива к Московской синеклизе, а ось сжатия погружается в север–северо-восточных румбах. Сложенный мелом южный отрезок уступа, где он особенно крут, возник, по мезоструктурным данным, при некотором сжатии — во взбросовом и взрезовом стресс-режимах. В плане уступ здесь синусоидально изогнут в виде структуры «коленчатого вала», и, по данным анализа стереограмм, на его продольных (широтных) отрезках локализуется взброс, а на диагональных — сдвиг разного знака [Копп и др., 2000].

В *Пачелмском авлакогене* и *Ульяновско-Саратовском прогибе* изучались позднеальпийские дислокации верхнеюрско-эоценовых слоев. Вытянутые вдоль борта Прикаспийской синеклизы валы *Дона-Медведицких дислокаций* демонстрируют пример взрезового стресс-режима. По стереограммам, здесь противоречиво сочетаются поперечные к дислокациям укорочение и удлинение; отмечалось и локальное рассеяние результатов [Копп, Тверитинова, 2001] (рис. 28). Генерализация же данных на компьютере показала, что смятие происходило при наклоненных одна от другой субширотных осях сжатия и растяжения: первая погружается от Прикаспийской синеклизы к западу, а примерно равновеликая вторая, — наоборот, к ней (см. рис. 1 и Приложение 1).

При этом мезотектонические данные, независимо от способа их обработки, согласуются с наличием флексур север–северо-восточного простирания, выраженных в юрско-меловых слоях и обращенных к синеклизе. Крупнейшие складчатые пакеты приурочены к бровкам флексур (см. рис. 1 и Приложение 1), и это позволило считать рассматриваемые дислокации в качестве присбросовых, компенсирующих широтное новейшее растяжение борта синеклизы [Копп, 2004а; Копп, Тверитинова, 2001]. Само же растяжение (здесь — постплиоценовое) задокументировано меридиональными Балыклейскими грабенами (см. предшествующий раздел) и мезотектоническими данными по уступу Волги у Камышина [Копп, 2004а]; рядом с дислокациями оно осуществлялось в сбросовом режиме, а к Саратову усиливается роль сдвига.

Режим сдвига характерен и севернее — для *Саратовских* и *Жигулевских дислокаций*, причем здесь часто встречаются настоящие мезотектонические сдвиги с пологой (до 45°) штриховкой. Однако простирание главных осей здесь сильно разворачивается по сравнению с Доно-Медведицкой зоной: сжатие становится субмеридиональным (от Ю–С до ЮЗ–СВ), а растяжение — субширотным (З–В — СЗ–ЮВ). Для фронтальных разрывов этих дислокаций (в Саратовских — Елшанско-Сергиевского, а в Жигулевских — одноименного им) давно доказаны надвиговые перекрытия (ссылки см. в [Копп, 2004а]). Однако мезоструктурные наблюдения показывают, что простирания векторов сжатия и растяжения далеко не всюду ортогональны по отношению к линиям разрывов, указывая на существенную роль компоненты сдвига (рис. 29; см. ниже рис. 43). В Саратовских дислокациях характерное для надвига перпендикулярное направление сжатия отмечается только на центральном отрезке разрыва, тогда как на востоке ось сжатия принимает северо-восточное (в данной ситуации — левосдвиговое) простирание (см. рис. 29, Б). Кроме того, левосдвиговая деформация широко проявляется в кулиности складок, оперяющих Елшанско-Сергиевский взброс (см. рис. 29, А и рис. 21); для крайнего западного отрезка последнего по особенностям структурного рисунка предполагается правый сдвиг. Что касается Жигулевского разрыва, диагональная к его линии ориентировка векторов напряжений, демонстрирующая весьма существенную компоненту левого сдвига, уверенно фиксируется вдоль почти всей его линии, от Сызрани до Самары [Копп, 2004а; Копп, Тверитинова, 1999] (см. ниже рис. 43); левый сдвиг здесь прекрасно выражен и в особенностях структурного рисунка (см. ниже рис. 43, В).

При этом неожиданным и даже противоречащим материалам бурения оказалась слабая выраженность для обеих зон дислокаций твердых признаков взбросового режима по мезотектоническим данным. Возможно, это частично связано с плохой обнаженностью Жигулевского разрыва: единичные взбросовые зеркала скольжения встречены только в его крыле, сама же линия перекрыта аллювием. Однако такой же дефицит взбросовых штриховок отмечается и для Елшанско-Сергиевского взброса, где этой причины нет. Более того, вдоль его линии доминируют мезотектонические сбросы — что уже прямо противоречит надвигу. Возможное объяснение этому будет предложено ниже.

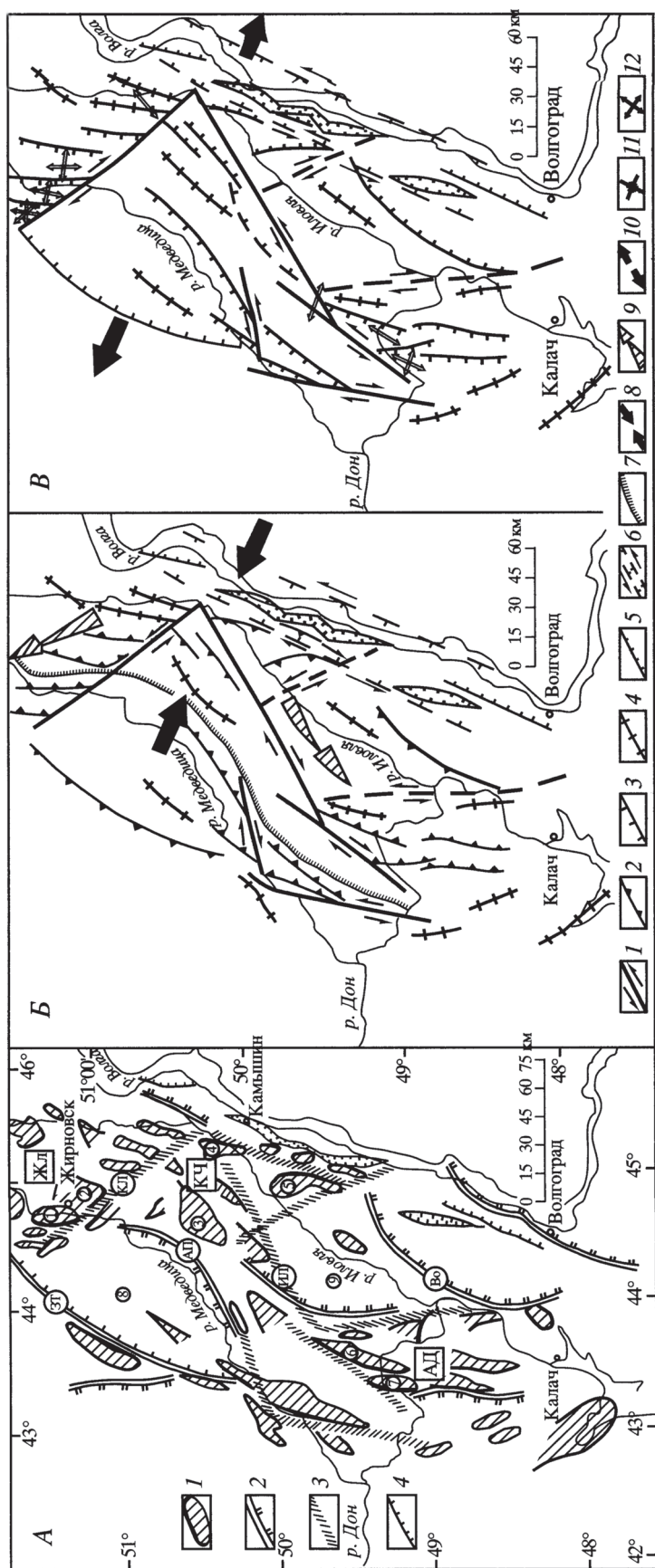
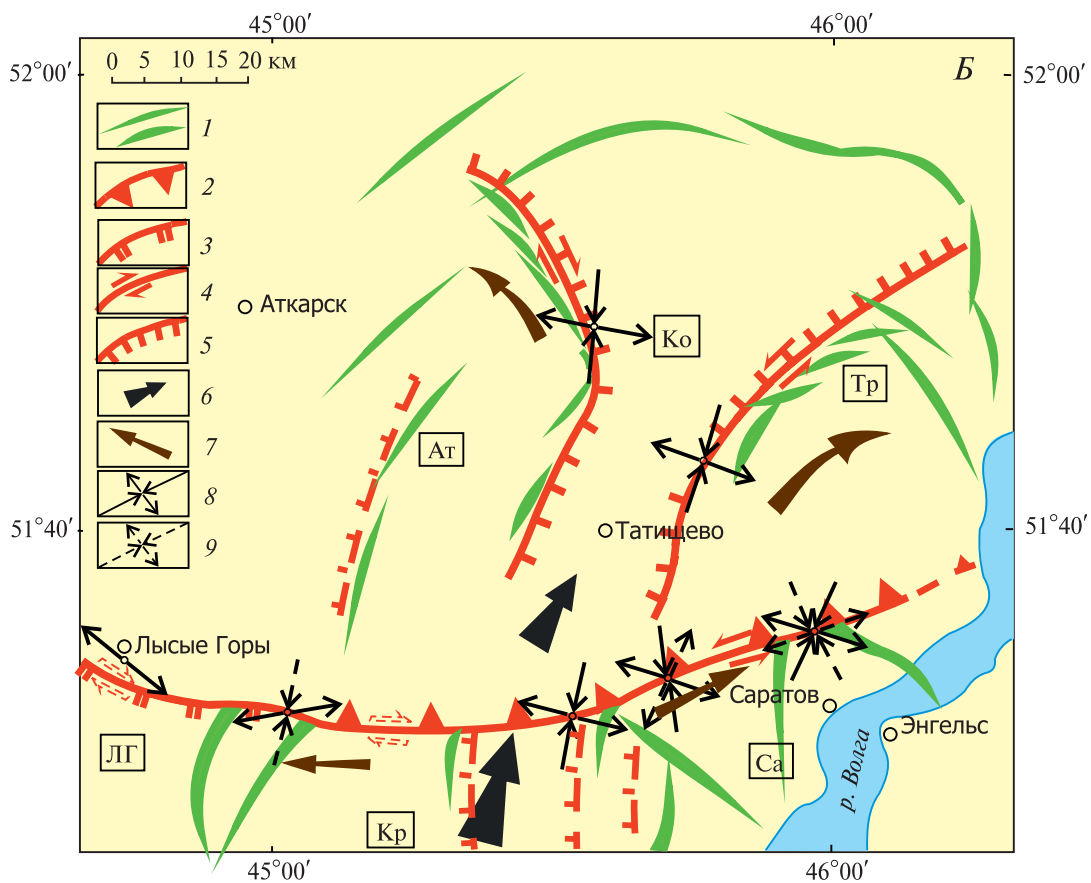
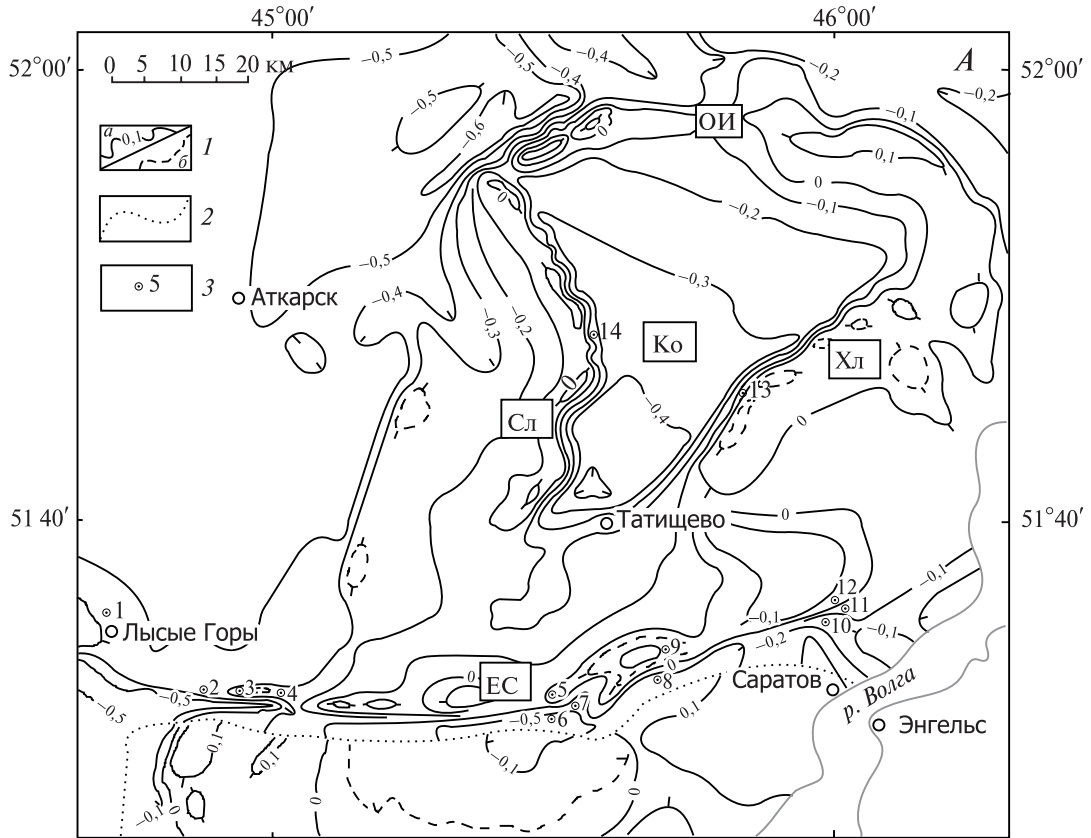


Рис. 28. Генерализованная новейшая структура Доно-Медведицкой зоны и ее альтернативные кинематические интерпретации [Копп, 2004а; Копп, Тверитинова, 2001]

На А — структурная схема: 1 — брахискладки чела (угощенная линия — более крутое крыло); 2, 3 — флексуры; 2 — вертикальные, 3 — горизонтальные (флексуры сдвига); 4 — сбросы Приволжской моноклинали. **Новейшие блоки и флексуры:** б/б — Арчдинско-Донской, ЖЛ — Жирновско-Линевский (Иловлинско-Медведицкий), КЧ — Коробковско-Чухонастовский; **флексуры** (буквы в кружках): АП — Абрамовско-Петрушинская, Во — Восточная, ЗТ — Западно-Терсинская, Ил — Иловлинская, КЛ — Кленовско-Демешкинская (Жирновско-Бахметьевская); **крупнейшие локальные структуры** (цифры в кружках): 1-7 — **брахиантиклинали**: 8 — Терсинская, 9 — Ольховская. 10 — Чухонастовская, 11 — Умётовская, 12 — Коробковская, 13 — Линевская, 14 — Ольховская.

На Б, В — варианты истолкования природы субмеридиональных складок и флексур: Б — субширотное сжатие, В — субширотное растяжение; 1 — флексуры сдвига и сдвига; 2 — флексуры взброса, складки и другие структуры сжатия (треугольники — в сторону «надвижения»); 3 — сбросы и другие структуры растяжения (берштрихи — в сторону «сброшенного» крыла); 4 — приблизительно симметричные складки; 5 — сбросы и грабены Приволжской моноклинали («Балыклейские грабены»); 6 — левоствиговая зона, предполагаемая по кулиности грабенов Приволжской моноклинали; 7 — бровка девонского бортового уступа фундамента Прикаспийской впадины; 8 — направление наибольшего горизонтального сжатия, 9 — направления латерального выжимания блоков; 10 — направление горизонтального растяжения; 11, 12 — установленные по мезотектоническим данным направления главных осей деформации; 11 — укорочения, 12 — удлинения



Интересно, что в соседних **Керенско-Чембарских** и **Сурско-Мокшинских дислокациях**, где сдвиги также ярко проявлены в макроструктурном рисунке, в мезоструктуре они встречаются редко, а участие сдвиговой деформации угадывается только по смешанным взбросо- и сбросо-сдвиговым штриховкам (которые как раз тут распространены широко). По данным анализа стереограмм (расположение точек см. на рис. 30), отмечаются постепенные переходы от взбросового до обратного — сбросового — наклона плоскостей трещин, аккомодирующие вращение блоков вокруг горизонтальной оси (взбросово-сбросовый «пояс вращения»). По результатам же компьютерного анализа выделяются два самостоятельных режима (см. рис. 24): взбросовый (главный — см. рис. 24, А), со сжатием ЮЗ–СВ и наклоном оси в северных румбах, и сбросовый — с растяжением СЗ–ЮВ, наклоненным к ЮВ (см. рис. 24, Б). При этом, согласно обоим видам статистического анализа, поперек этих зон происходило северо-восточное укорочение, а вдоль — северо-западное удлинение. Такая конфигурация осей напряжений, со сжатием поперек валов северо-западного простирания и растяжением вдоль них, подтверждает левый сдвиг по диагональным (широтным) горизонтальным флексурам.

Возможная причина слабой выраженности сдвига в мезотектонических парагенезах — большая глубина фундамента в Пачелмском авлакогене по сравнению с Пугачевским сводом, где находятся Жигулевские дислокации. В последних корни их главного разрыва (с универсально доказываемой для него компонентой сдвига) подняты ближе к поверхности, и поэтому сдвиг больше влияет на кинематику трещин в верхах чехла. В Керенско-Чембарских же дислокациях, заложенных на прогибе фундамента, это условие уже не соблюдается.

Вместе с тем, если посмотреть шире, указанная причина вряд ли единственная, и нужно

иметь в виду, что севернее растяжение доминирует уже везде, причем не только в Вятских дислокациях, приуроченных к глубокой депрессии **Казанско-Кажимского прогиба** на западном склоне **Волго-Уральской антеклизы**, но и на **Токмовском своде**, где фундамент заметно поднят — т.е. проявляясь в таком масштабе вне какой-либо связи с глубиной до фундамента. Между тем, как и в других регионах, здесь также присутствует зависимость стресс-режима от уровня генерализации.

Так, для **Вятских дислокаций** выборки с небольшим (70–80) количеством замеров показывают два конкурирующих вида сбросового режима, для одного из которых преобладает растяжение поперечное, ЗСЗ–ВЮВ, а для другого — продольное, ЮЮЗ–ССВ [Копп, 2012] (рис. 31). Однако повышение генерализации до 120–150 замеров усилило разброс сбросовых зеркал скольжения, но одновременно увеличило согласованность взбросовых, а при еще большей генерализации — и сдвиговых. Ось сжатия, восстановленная этим путем, ориентирована от СЗ–ЮВ до ССЗ–ЮЮВ — поперек и по диагонали к дислокациям (см. рис. 1 и Приложение 1). Такое решение больше соответствует их складчатому строению и участию в их структуре левого сдвига (см. предыдущий раздел и см. рис. 16 и 17), заметному по структурному рисунку [Копп, 2012]. По этой причине взбросовый режим (к тому же находящийся в середине ряда генерализаций) был нами выбран для включения в итоговую карту. В этой связи показательна большая устойчивость ориентации и наклона оси сжатия (признак его приоритетного значения), по сравнению с более хаотично организованными параметрами оси растяжения, при этом последняя чаще наклонена к ЮВ вместе с более крутым восточным бортом Вятского мегавала.

Разноплановые поля напряжений отмечают и для группы новейших поднятий, осложняющих Волго-Уральскую антеклизу между Вятскими дислокациями и Уралом.

←

Рис. 29. Структурный рисунок и геокинематика Саратовских дислокаций [Копп, 2004а]

А — структурная карта — (по [Горьков, 1979], с упрощениями): 1 — стратоизогипсы по реперам внутри юры и мела (а — основные, проведенные через 100 м; б — дополнительные, через 50 м); 2 — границы участков с разным возрастом реперов; 3 — точки мезотектонических наблюдений и их номера. Наименования структур (буквы в квадратах): ЕС — Елшанско-Сергиевский вал, Ко — Корсаковская синклинали, ОИ — Оркинско-Ириновский вал, Сл — Слепцовский вал, Хл — Хлебновский вал.

Б — геокинематическая схема: 1 — оси линейных валов и складок, флексуры; 2 — взбросы и надвиги, 3 — субвертикальные взбросы (врезы); 4 — сдвиги; 5 — сбросы; 6 — направления действующего давления; 7 — направления латерального выжимания блоков; 8, 9 — ориентация векторов сжатия и растяжения: 8 — определенная по мезоструктурным данным, 9 — 2-го порядка и предположительная. Наименования блоков (буквы в квадратах): Ат — Аткарский, Кр — Карамышский, Ко — Корсаковский, ЛГ — Лысогорский, Са — Саратовский, Тр — Тарханский

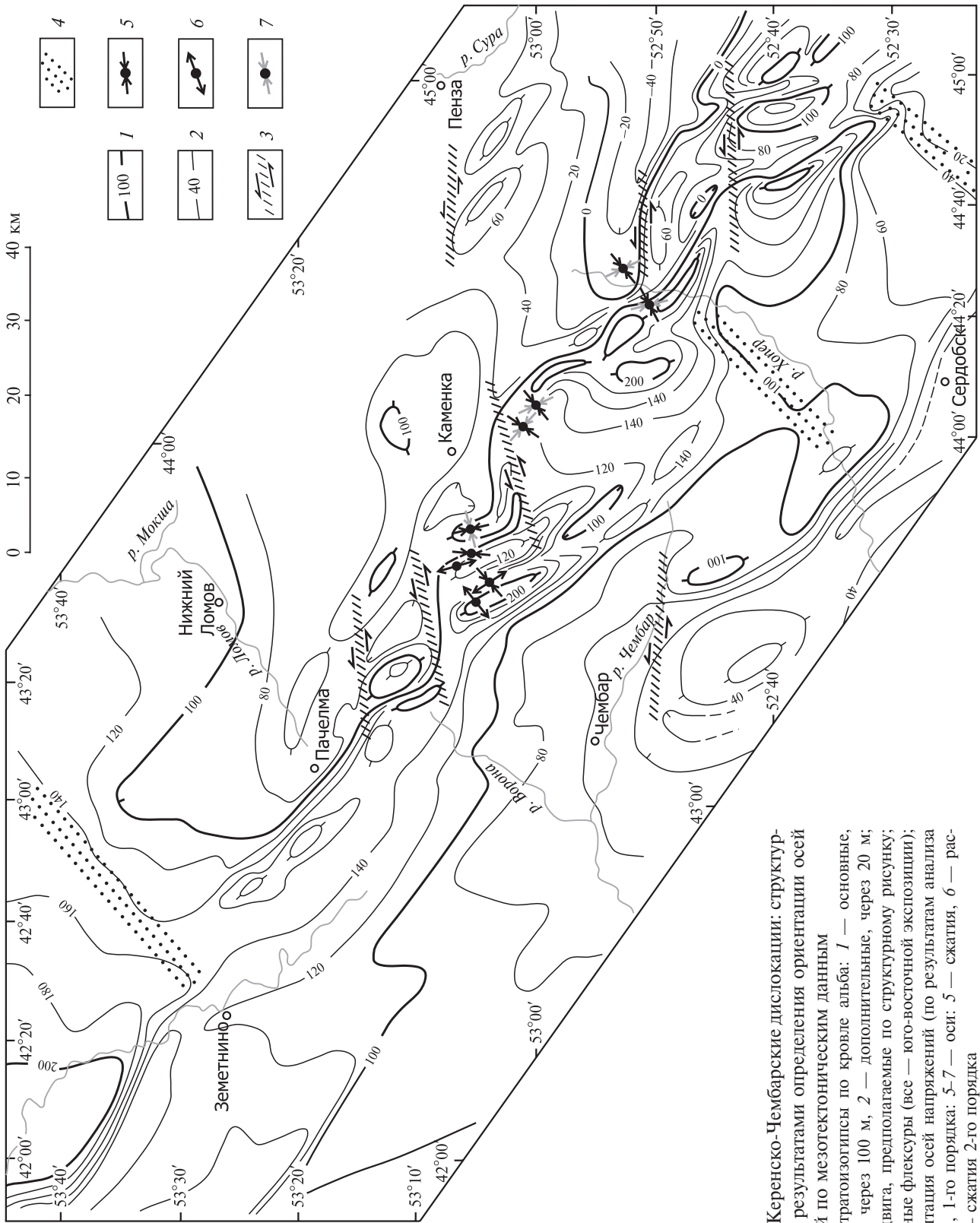


Рис. 30. Керенско-Чембарские дислокации: структурная карта с результатами определения ориентации осей напряжений по мезоструктурным данным

1, 2 — стратиграфические по кровле альфа: 1 — основные, проведенные через 100 м, 2 — дополнительные, через 20 м; 3 — зоны сдвига, предполагаемые по структурному рисунку; 4 — поперечные флексуры (все — юго-восточной экспозиции); 5, 6 — ориентация осей напряжений (по результатам анализа стереограмм), 1-го порядка: 5-7 — оси: 5 — сжатия, 6 — растяжения, 7 — сжатия 2-го порядка

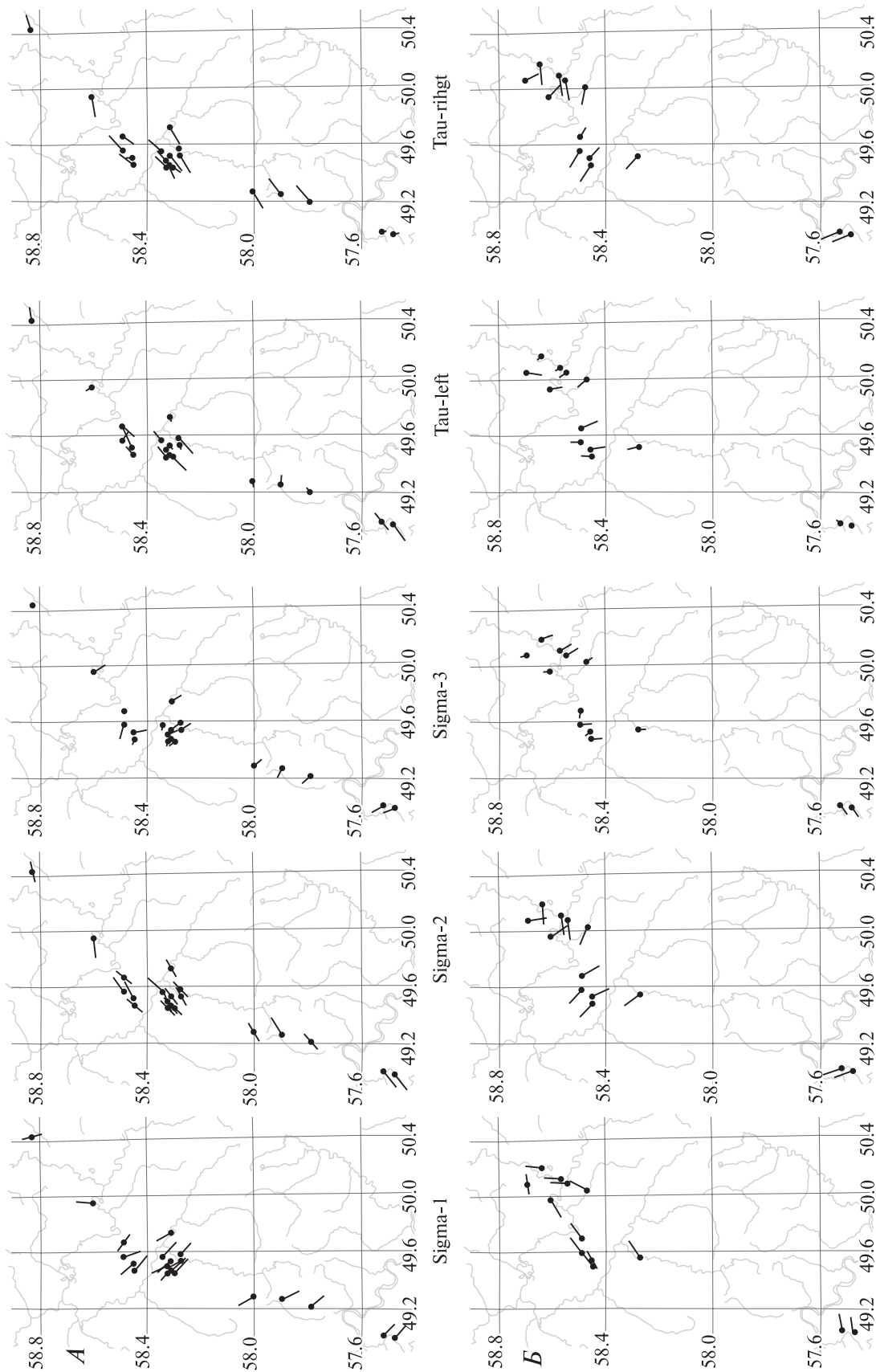


Рис. 31. Компьютерные реконструкции векторов кайнозойских напряжений для Вятских дислокаций (наклон вектора направлен от центральной точки символа, угол наклона обратно пропорционален длине вектора)

А, Б — стресс-режимы: *А* — основной сбросовой (с растяжением СЗ–ЮВ), *Б* — второстепенный сбросовой (растяжение ЮЗ–СВ).

Индексы главных нормальных осей эллипсоида напряжений: Sigma-3 — сжатия, Sigma-1 — растяжения, Sigma-2 — промежуточной оси. Индексы главных касательных напряжений: Tau-left — левого сдвига, Tau-right — правого сдвига.

Остальные пояснения см. в тексте

Для *новейшего свода Общего Сырта* выделены сдвиговый и сбросовый режимы с растяжением 3–В–ЮЗ–СВ; его ось наклонена разнообразно, но ось сжатия — повсюду к северу. Ориентация осей подтверждает меридиональное (до ССЗ) сжатие, фиксируемое по морфологии глубинных валов [Копп, 2004а], но противоречит системе широтных грабенов мела. (Вместе с тем, отсеченные генерализацией «сглаживания» сбросовые парагенезы меридионального удлинения присутствуют в исходном материале.) В основной части *Бузильминско-Белебеевского новейшего поднятия* установлено растяжение СЗ–ЮВ (наклон оси чаще — к СЗ) [Колесниченко, 2013], но на востоке появляется параллельное Уралу меридиональное растяжение, конкурирующее с поперечным субширотным. На восточном борту еще более близкого к Уралу *Уфимского новейшего вала*, осложненном Суксунским разрывом (по бурению, вертикальным сбросом), обнаружены мезоструктурные взбросы и взбросо-сдвиги [Колесниченко, 2010; Копп и др., 2008], указывающие на режим транспрессии (лево-сдвиговой?) со сжатием 3–В — ЮЗ–СВ — по диагонали и поперек разрыву, ось которого наклонена согласно экспозиции последнего. С субширотным транспрессионным сжатием конкурирует сбросовый режим совместимого — меридионального — растяжения, наклоненного к югу. Полученные данные позволяют рассматривать Суксунский разрыв в качестве взброса на его южном меридиональном отрезке, а на северном, север–северо-западного простираения, — в качестве левого взбросо-сдвига. Субширотное укорочение, но с вертикальным (в своде) растяжением установлено и для *Тулвинского новейшего вала* [Копп и др., 2008]. Горизонтальное широтное сжатие локализовано у его более крутого западного крыла, осложненного разрывом, на более же пологом восточном крыле характер поля напряжений оказался более сложным и даже хаотичным, и здесь это, возможно, обусловлено диапировой тектоникой — в сторону Предуральского прогиба быстро наращивается мощность эвапоритов кунгура (отсутствующих на западном крыле поднятия).

В *Южноуральско-Мугоджарском регионе* наиболее яркие проявления режимов сжатия — взбросового и сдвигового — отмечаются около взброса новейшей гряды (мегантклинали) *Мугоджар*, в юрско-меловых отложениях его ле-

жачего крыла. Ось сжатия, воздымающаяся на восток к взбросу, ориентирована поперек или по диагонали к нему, указывая на участие сдвига: на юге — правого, а на севере — левого (см. также [Копп, 2004б]), — что полностью совместимо с макроструктурными данными (см. рис. 11 и 12). По удалении от взброса к западу, в палеогеновой моноклинали борта Прикаспийской синеклизы, широтное сжатие уступает место ассоциирующему растяжению с осью вдоль Мугоджар, наклонена же она к югу, по погружению Мугоджар и Урала. Севернее, около кулисного к Мугоджарскому Новокиевского взброса, в юрско-меловых отложениях *Таналык-Баймакского прогиба*, режим сдвига уступает место взбросовому и сбросовому (при том, что сдвиг четко выражен в макроструктуре — см. рис. 5). Растяжение, в отличие от Мугоджар, наклонено не только к югу, но и к северу, но сжатие (во взбросовом режиме, выбранном для карты), как и в Мугоджарах, направлено поперек и по восстанию к взбросу.

Еще слабее (по мезотектоническим признакам) сжатие проявлено в неогеновых слоях Бельской ячеи *Предуральского прогиба* (и это, — несмотря на их интенсивную дислоцированность в виде субмеридиональных складок). По результатам обработки на компьютере, оно здесь заменилось совместимым с ним меридиональным «уральским» растяжением. Последнее реализовалось здесь двумя сбросовыми режимами, различающимися лишь противоположным наклоном оси растяжения — к северу и к югу. Возможной причиной такого несовпадения данных макро- и мезотектонических наблюдений является завышенная генерализация данных по методу «скользящего окна»: в исходном материале здесь присутствовало много мезотектонических взбросов, но, видимо, они были отсечены при операции «сглаживания». При субмеридиональном (ЮЮВ–ССЗ) растяжении деформировались четвертичные породы *Зауральской новейшей структурной террасы* южнее Челябинска; помимо зеркал скольжения, об этом свидетельствуют многочисленные трещины отрыва, заполненные стяжениями карбонатов — журавчиками [Вержбицкий, Копп, 2005]. Учитывая практически полное отсутствие складок четвертичных отложений данного района, определение обстановки растяжения здесь представляется вполне естественным.

Сопоставление макро- и мезоструктурных данных: главные параметры кайнозойского поля напряжений

Тип стресс-режима. Сравнивая макро- и мезоструктурные данные о динамике новейших структур, можно видеть, что, как в общем плане, так и для частных объектов, набор определяемых стресс-режимов не всегда совпадает для того и другого блока данных.

Так, в макроструктуре проявляются все режимы, способствующие горизонтальным перемещениям: взбросовый (сжатие), сбросовый (растяжение) и сдвиговый (горизонтальный сдвиг); они бывают выражены в кинематике смещений по разрывам или, косвенно, в структурном рисунке. При этом сдвиговые структурные рисунки встречаются везде и независимо от обстановок сжатия или растяжения, что позволяет считать сдвиговый режим в настоящем районе приоритетным и универсальным [Копп, 2004а, 2005]. По мезоструктурным же данным, главенствуют сбросовый и взбросовый стресс-режимы, а настоящий сдвиговый режим встречается редко (хотя взбросы и сбросы со сдвиговой компонентой распространены повсюду и даже шире, чем «идеальные» взбросы и сбросы).

Конечно, ограниченная информативность мезоструктурных данных для сдвигового режима может быть вызвана спецификой условий получения материала — близостью земной поверхности, облегчающей перемещения и деформации вдоль вертикальной оси (что как раз присуще сбросовому и взбросовому режимам). Напротив, изучение крупных макроструктур (по определению, имеющих корни на глубине) дает трехмерное представление о поле напряжений и, в том числе, о его сдвиговой составляющей. Однако полностью проблема не снимается: все равно требуют объяснения такие распространенные явления, как преобладание сбросовой трещиноватости над взбросовой даже в зонах некоторых крупных разрывов сжатия.

По нашему мнению, все это может быть объяснено затуханием вверх идущих от фундамента сжимающих напряжений под весом более пассивного чехла — надежно устанавливаемым разными способами (см. выше) и вообще характерным для платформенных условий. При этом сжатие, убывающее вверх, но все же обуславливающее заметный подъем козырьков взбросов

и вершин валов, вызывает компенсационное растяжение кровли, прежде всего направленное поперек этих структур; иначе говоря, сбросы такого растяжения оказываются параллельными надвигам. Подобное требует наличия срывов между чехлом и фундаментом, примеры чего приводились. Нарастание сжатия вглубь подтверждается также компьютерным ранговым анализом посредством изменения уровня генерализации: при его повышении стресс-режим меняется от сбросового до взбросового и, наконец, сдвигового.

Помимо фундаментальных изменений стресс-режима в вертикальном разрезе, очевидны и его закономерные вариации в плане. Главная из них определяется дистанцией от находящейся южнее альпийской коллизионной зоны и, в какой-то степени, от новейшего Урала. Так, в пределах Восточно-Европейской платформы ареалы диагностируемых по мезотектоническим данным (т.е. на поверхности) режимов сжатия, особенно сдвигового, встречаются не севернее широты Жигулевских дислокаций и Общего Сырта. Дальше к северу проявляется взбросовый режим (Керенско-Чембарские дислокации, Борлинский вал), но часто наравне со сбросовым, а еще севернее, начиная с Токмовского свода и вплоть до Вятских дислокаций, господствует сбросовое растяжение в различных его модификациях. Та же тенденция повторяется и для Уральского меридиана: взбросовый и сдвиговый режимы там установлены по мезоструктуре только для самого юга Южного Урала (Таналык-Баймакский прогиб) и для Мугоджар, тогда как неоген Предуральяского прогиба, несмотря на его заметное смятие, деформировался в сбросовом режиме, но при сохранении меридионального «уральского» растяжения.

Более локальные вариации стресс-режима связаны с изменением глубины до кровли фундамента. На участках его подъема складчатые дислокации (например, Жигулевские на Пугачевском своде) деформировались в условиях сжатия в сдвиговом режиме, фиксируемом всеми возможными способами (как мезо-, так и макроструктурными). Дислокации же, возникшие в прогибах фундамента (например, Керенско-Чембарские в Пачелмском авлакогене), примеры сдвиговых парагенезов являют только в макроструктуре. Вариации такого рода увязываются с обосновываемой выше повсеместной большей глубинностью сдвигового режима, приближенностью его к фундаменту (соответственно, подъем кровли последнего автоматически уве-

личивает влияние глубинных сдвигов на кинематику поверхностной трещиноватости), но они же еще раз подтверждают компрессионный характер напряжений, идущих от консолидированной коры.

Можно сделать следующие общие выводы об изменениях кайнозойского стресс-режима по результатам его диагностики мезо- и макро-структурными методами:

1) в разрезе растяжение уменьшается, а сжатие увеличивается вглубь, что выражено в смене стресс-режимов от сбросового и взбросового на уровне обнажений до взбросового и особенно сдвигового на уровне кровли фундамента (последнее — по макроструктурным данным и, предположительно, по мезоструктурным, если учесть изменения их информативности, связанные с увеличением уровня генерализации);

2) по латерали с севера на юг, по мере приближения к зоне коллизии, сжатие возрастает (в том числе и в форме сдвига, вообще-то слабее проявленного в мезоструктуре);

3) пункты 1–2 подтверждают наличие сжатия в консолидированной коре и его связь с коллизионным давлением, направленным с юга;

4) при этом наши данные обращают внимание на широкое распространение, особенно на севере рассматриваемой территории, режима горизонтального растяжения (сбросового).

Ориентация горизонтальной компоненты осей напряжений. По этому признаку, а также типу стресс-режима, выделяются следующие структурно-динамические домены.

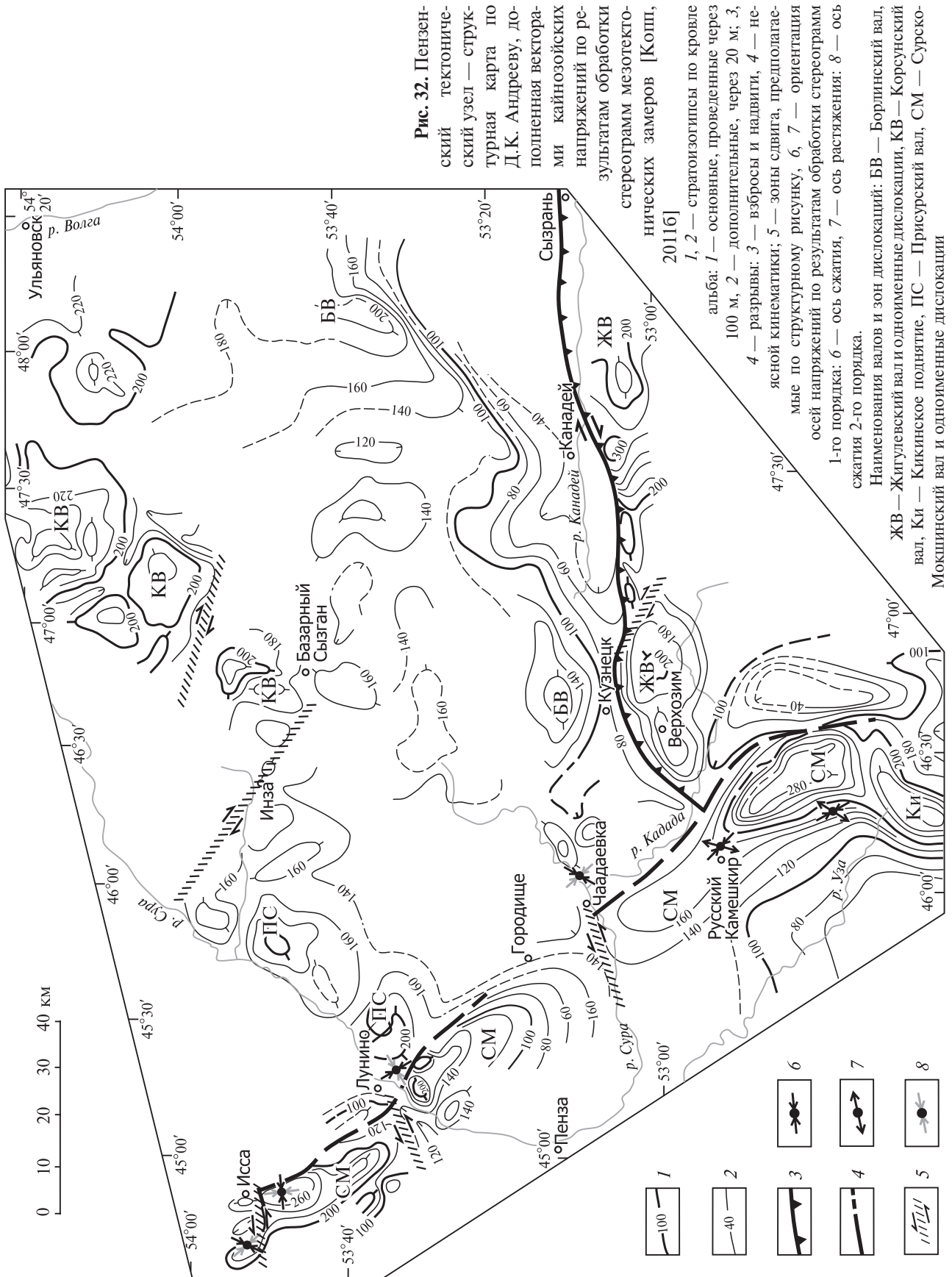
В первом из них (условно, «южном»), охватывающем Донбасс и Скифскую плиту, Воронежский массив и Прикаспийскую синеклизу, преобладает субмеридиональное, до ЮЗ–СВ, сжатие и ассоциирующее субширотное растяжение, развивавшиеся здесь в раннеальпийскую ларамийскую (Донбасс) и позднеальпийскую эпохи.

Другой домен («восточный») включает Южный Урал и Мугоджары, деформировавшиеся одновременно с позднеальпийской частью южного домена, но, вероятно, с несколько более ранним (в олигоцене) началом. Ось растяжения там направлена субмеридионально — поперек таковой в предыдущем домене, а ось сжатия ориентирована более разнообразно — от З-В до СВ–ЮЗ и СЗ–ЮВ, но субмеридиональная ее ориентировка (при пологом наклоне) отсутствует. Такие решения векторов напряжений в каждом домене, полученные по мезоструктурным данным, полностью согласуются с определяемыми по макроструктуре. Кроме того, дисба-

ланс определений типа стресс-режима, фиксируемого этими разномасштабными способами, в обоих доменах наименьший. Субмеридиональная, до северо-восточной, ориентировка оси сжатия в южном домене согласуется с направлением поперечного укорочения в коллизионных орогенах Большого Кавказа и Копетдага, указывая на них как на вероятные источники напряжений. Восточный (уральский) домен находится дальше от южной границы Евразийской плиты и сжат субширотно, но, по мнению [Копп, 2005; Леонов, 1995; Лёвин, Фомин, 2001], это — результат преломления направленного ЮВ–СЗ коллизионного давления у меридионального восточного края ВЕП.

Домену внутри угла между широтным южным и меридиональным восточным доменами («северо-западному») присущ особый стиль структуры и ориентации напряжений, определяемый приоритетом растяжения (ориентированного как субширотно, так и субмеридионально). Попутно возрастает дисбаланс определенных по макро- и мезотектоническим данным параметров — ориентировок напряжений и типа стресс-режима, а сбросовый режим доминирует (на поверхности) даже на тех структурах, которые, вообще говоря, сложно объяснить без допущения горизонтального сжатия (как упоминавшиеся Вятские и Керенско-Чембарские дислокации). Кроме того, в рельефе доменов выражен областью широких депрессий — наложенных новейших прогибов: Окско-Донского, Заволжского, Закамского и Волжско-Ветлужского (см. ниже рис. 40 и Приложение 2), на краях которых сосредоточены все известные сбросы и грабены. Границы домена с двумя прочими широкие и нечеткие и сопровождаются следами наложения присущих им полей деформаций.

Растяжение в северо-западном домене, казалось бы, несовместимое с общим коллизионным сжатием, между тем, как раз ожидаемо, если его связывать с реально наблюдаемыми стрессами на периферии области индентации. Избыточное скупивание масс, создаваемое внедрением плитинденторов, компенсируется там растяжением в сдвиговом и сбросовом полях [Копп, 1997; Tarponnier, Molnar, 1976]; в частности, именно с ним связывается происхождение Байкальского и Рейнского рифтов [Tarponnier, Molnar, 1976]. В рассматриваемой Периаравийской области активное коллизионное растяжение несомненно проявилось в Каспии, но можно полагать, что к северу оно продлилось (в затухающем виде) в возникновении упомянутых пологих депрессий.



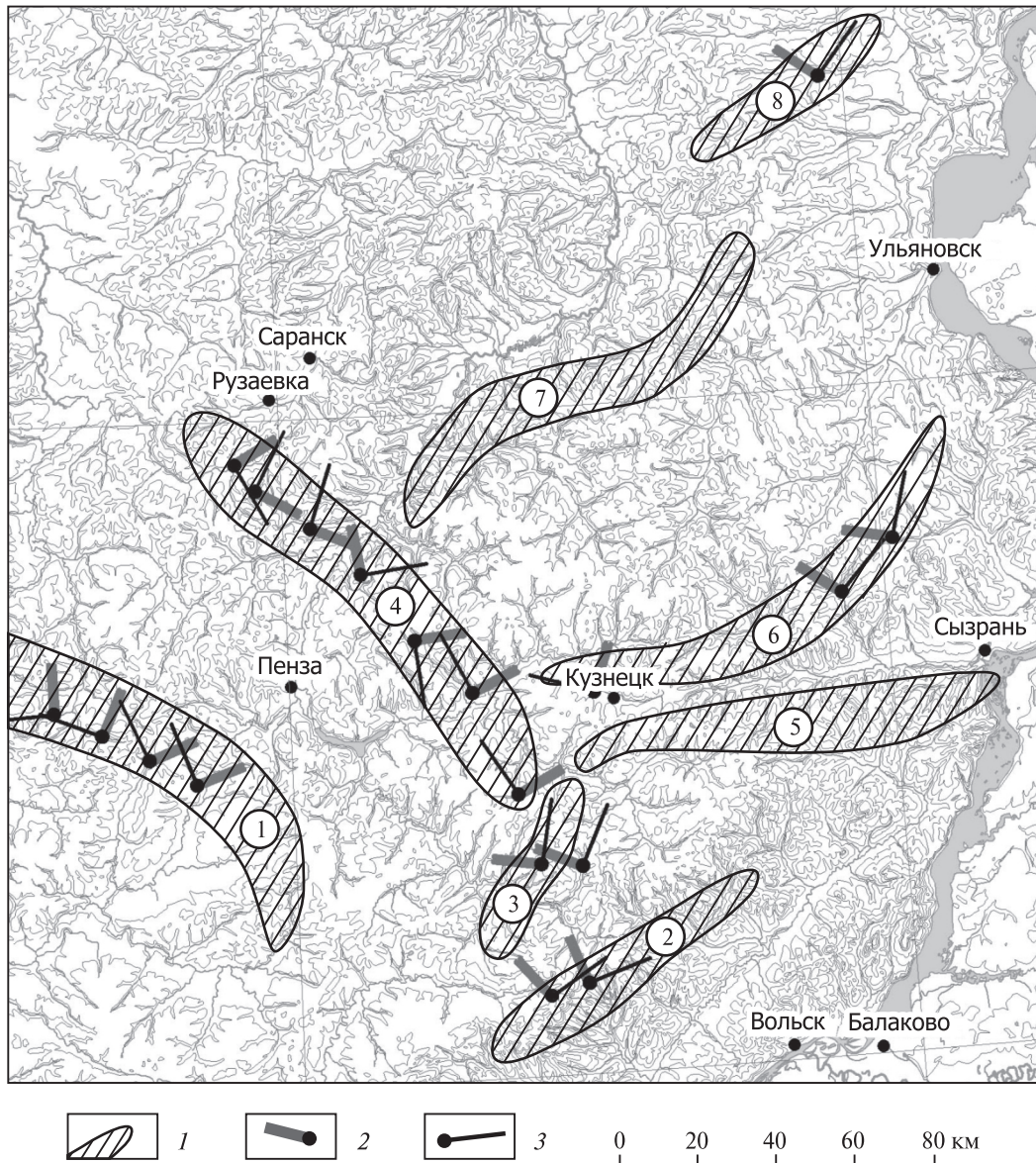


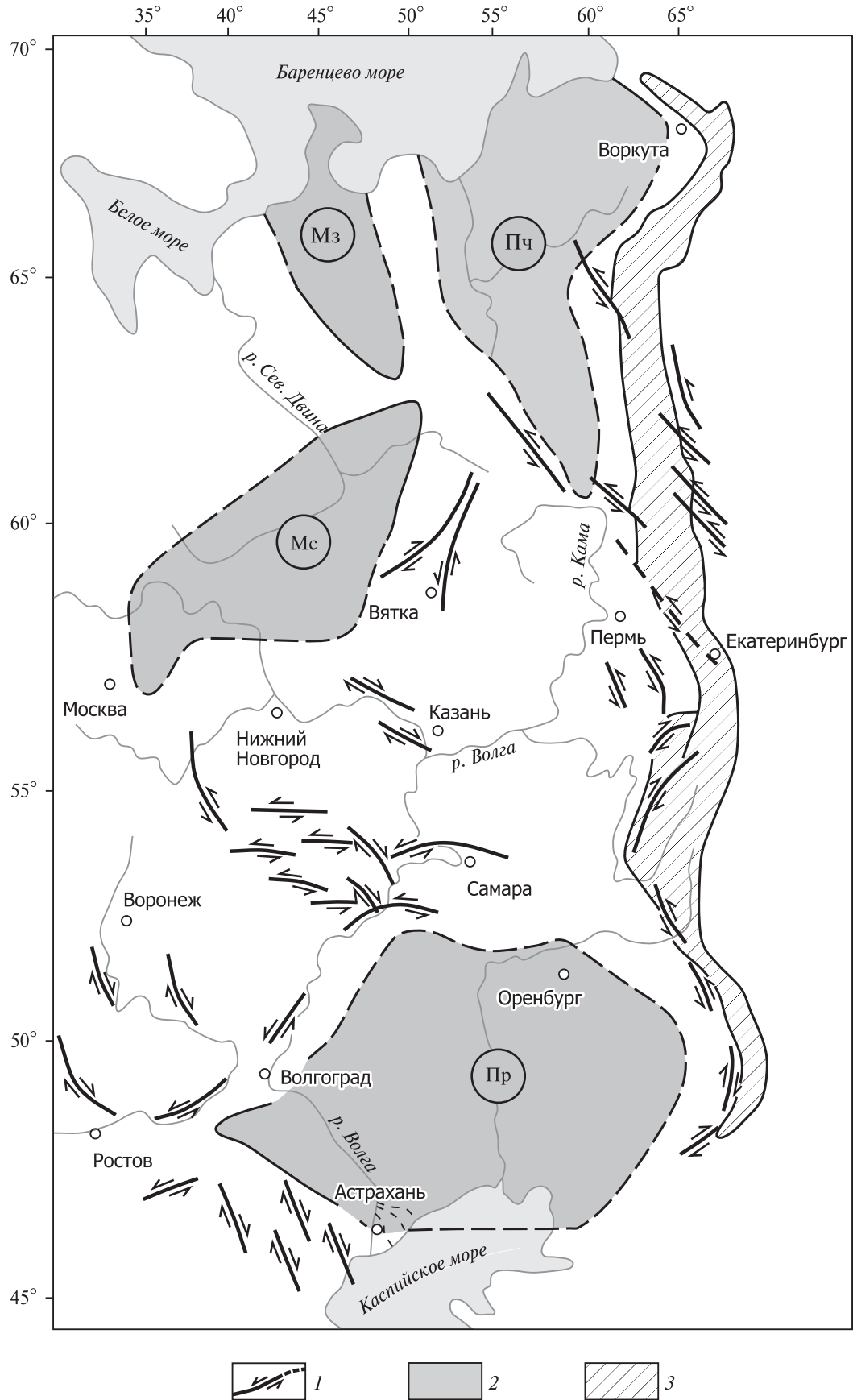
Рис. 33. Реконструированная на компьютере ориентировка кайнозойских напряжений для структур Пензенского тектонического узла

1 — контуры зон дислокаций и крупных валов (цифры в кружках): 1 — Керенско-Чембарские дислокации, 2 — Базарно-Карабулакское поднятие Оркинско-Ириновского вала, 3 — Кикинское поднятие, 4 — Сурско-Мокшинские дислокации (мегавал), 5 — Жигулевские дислокации (мегавал), 6 — Борлинский вал, 7 — Присурский вал, 8 — Карлинские дислокации; 2, 3 — векторы нормальных напряжений (наклон от центральной точки символа): 2 — ось сжатия или главного укорочения, 3 — ось растяжения или промежуточная ось



Рис. 34. Новейшие сдвиги востока Русской плиты и Урала [Государственная геологическая карта..., 1988; Копп, 2004 а,б, 2005; 2011в, 2012; Копп, Тверитинова, 1999; Копп и др., 2010; Лидер, 1960, 1964; Корчемагин, Емец, 1987]

1 — сдвиги; 2 — центральные части синеклиз (буквы в кружках: Мз — Мезенской, Мс — Московской, Пр — Прикаспийской, Пч — Печорской); 3 — новейший Урал



В районе Окско-Донского прогиба, Средней Волги и Вятско-Камского региона растяжение подтвердилось нашими данными [Копп, 2004а, 2011а, 2012; Копп и др., 2000]; кроме того, выяснились контуры и строение поля напряжений его области: на юге (южнее Самары и Липецка) ось растяжения ориентирована широтно, а севернее (Нижний Новгород, Казань, Киров) она заметно разворачивается к меридиану.

В северо-западном домене проявилось и сжатие, но оно слабее выражено: здесь на поверхности неизвестны надвиги фундамента, а встречающиеся надвиги чехла и зоны брекчирования — бескорневые, не прослеживающиеся ниже подошвы среднекаменноугольных отложений (упомянутые Карлинские дислокации). Кроме малой амплитуды, структуры сжатия не выдержаны по простиранию: здесь перекрещиваются валы субширотного и субмеридионального направлений, из-за чего некоторые из них имеют квадратные или крестообразные очертания (рис. 32, см. также Приложение 1). При этом мезоструктурные наблюдения показывают, что разноориентированные валы образовались при поперечном к ним сжатию [Копп, 2011в] (рис. 33; см. рис. 24, 32). Все это — черты рассеяния горизонтальных сжимающих стрессов на фоне их общего снижения. Выделяется также устойчивая группа валов и надвигов промежуточной — северо-восточной ориентировки (яркий пример — Борлинский вал, см. рис. 24, 32 и 33), которая скорее всего связана с геометрическим сложением обычных для южного и восточного доменов меридионального и широтного векторов давления (следует учитывать также роль ориентированной на этом участке в северо-восточном направлении краевой флексуры древнего Токмовского массива — хотя нельзя исключать того, что и сама она подчеркнута этими геометрически интегральными напряжениями северо-западного сжатия).

Наклон осей напряжений к горизонту. Это последний из рассматриваемых параметров, который, как оказалось, хорошо коррелирует с особенностями региональной структуры и рельефа (см. рис. 1 и Приложения 1 и 2). Особенно это относится к оси растяжения, обычно погружающейся вместе с тектоническим и топографическим рельефом. Так, в Мугоджарах и на Южном Урале эта ось падает к югу — согласно с ныряющим шарниром Уральского новейшего орогена; около же Прикаспийской и Московской синеклиз ось растяжения чаще погружается к последним.

Иными словами, удлинение растягиваемого материала наклонено (и направлено по горизонтали) в сторону соседних древних впадин. Здесь уместна аналогия со сдвиговой тектоникой, где движение блоков ускоряется к ближайшим «геодинамическим убежищам» [Копп, 1997] — участкам снижения сжатия и/или возрастания растяжения, а также к глубоким тектоническим впадинам, кроме всего прочего, еще и гравитационно притягивающим горные массы. В нашей платформенной области это, в частности, проявляется в том, что из двух сопряженных систем кайнозойских сдвигов разной кинематики (левых или правых) реализуется та, смещение по которой в наибольшей степени приближает движущиеся блоки к соседней синеклизе (рис. 34) — Прикаспийской (левые сдвиги Саратовских и Жигулевских дислокаций, правые — Южного Урала), Печорский и Мезенской (левые сдвиги Среднего и Северного Урала), либо Московской (правые сдвиги Вятских дислокаций).

Наклон оси сжатия не столь выдержан, но отметим, что в южном домене, при общем меридиональном сжатии, резко преобладает северный, согласный с поддвигом аравийской и кавказской литосферы к северу [Копп, 2004а]. В более частной ситуации наклон оси сжатия бывает согласен с падением крутых крыльев валов или, около надвигов, с направлением надвигания.

Плиоцен-четвертичные напряжения по данным анализа рельефа

Основные методические положения

В современном плане гидросети (начавшем формироваться в плиоцене, но окончательно обретшем свой облик в квартере) и во взаимном расположении крупных водораздельных поднятий (сохранивших и еще более древние элементы новейшей морфоструктуры) присутствуют черты, позволяющие предполагать кинематику неотектонических перемещений в эпоху рельефообразования. Несмотря на провизорность такого подхода, заключающуюся в том, что здесь, за неимением данных о каких-либо смещениях геоморфологических объектов (во всяком случае, при работе с мелкомасштабными топографическими материалами), приходится опираться только на косвенные признаки, основанные на анализе особенностей морфоструктурных рисунков.

Тем не менее данный подход важен для сопоставления с другими, более точными и информативными — макро- и мезоструктурными. Кроме того, морфоструктурные данные имеют и свои особые преимущества — в том, что они, во-первых, обеспечивают практически полное покрытие всей изучаемой территории, не зависящее от наличия обнажений или участков буровых и геофизических работ, и, во-вторых, что не менее существенно, они имеют узкую возрастную привязку, точно соответствующую этапу оформления современной гидросети.

Среди несущих тектодинамическую наружку и выраженных в плане особенностей рельефа вкратце перечислим главные.

1. Это участки кулисного строения долин, указывающие на сдвиг в направлении, согласном знаку кулис («по шерсти»).

2. Иногда кулисные зоны сопровождаются расширениями долин типа pull-apart (то и другое — на рис. 35), указывающими на обстановку транстензии (сдвига с растяжением).

3. Обстановка симметричного растяжения угадывается по наличию одиночных или, надежнее, закономерно повторяющихся расширенных участков субпараллельных долин определенного простирания, часто зигзагообразной формы в плане (рис. 36), характерной для трещин отрыва, в профиле же — трого- или корытообразного вида¹.

4. Асимметричное же растяжение, осложненное ускоренным движением масс в одном направлении, фиксируется почти идеально дугообразными в плане и резко выраженными в профиле длинными (десятки километров) уступами с вогнутостью, обращенной к долине (рис. 37 и 38); уступы такого рода осложняют высокие берега Камы и особенно Волги, где соседние циркообразные выемки буквально наступают одна на другую; по своим размерам и форме они напоминают асимметричные полуграбены в рифтах (рис. 39) и к тому же ассоциируют с (независимо установленным) неотектоническим растяжением поперек реки [Копп, 2011а; Копп и др., 2000].

¹ Независимо от растяжения, расширения долин могут быть связаны и с их подпруживанием поперечными разрывами, растущими структурами, оползнями и другими геоморфологическими объектами. Однако все такие нарушения имеют локальный характер, и обычная форма долины быстро восстанавливается по удалении от препятствия. Кроме того, методически важна устойчивая повторяемость расширений именно на отрезках определенного простирания.

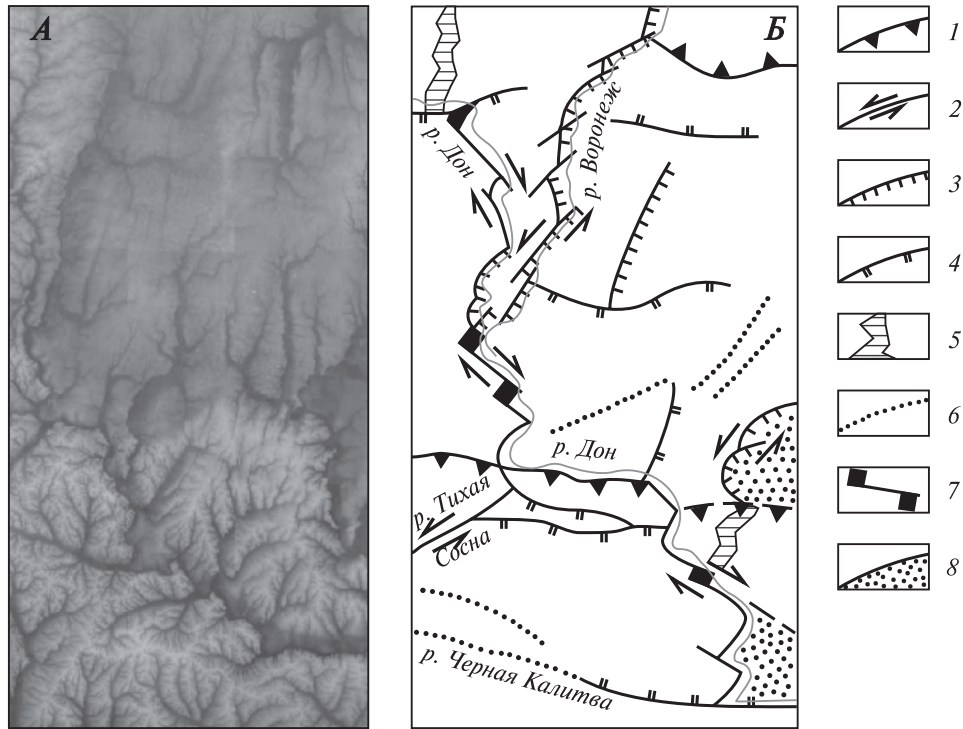
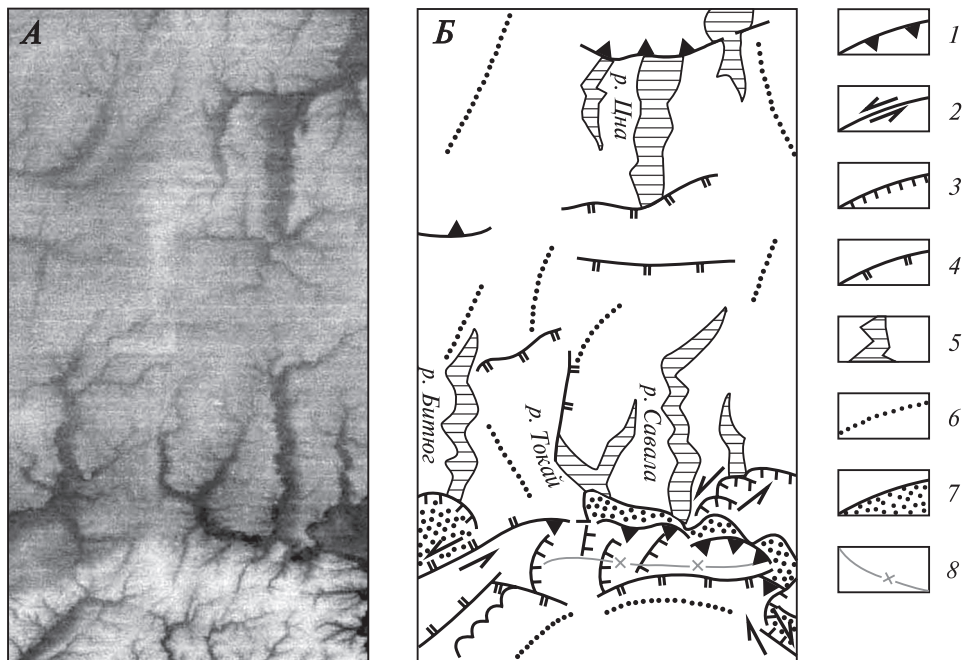


Рис. 35. Сдвиги юго-западного угла Окско-Донского новейшего прогиба, выраженные в рельефе кулисно-отрезков долин и их расширениями типа pull-apart (объяснения см. в тексте и в подписи к рис. 19 в [Копп, 2004a])

A — цифровая модель рельефа, *B* — схема ее дешифрирования.

1–5 — линеаменты с предполагаемой кинематикой смещения: 1 — взбросовой (треугольники — по падению сместителя), 2 — сдвиговой, 3 — сбросовой (бергштрихи — по падению сместителя), 4 — только видимой вертикальной, 5 — с предполагаемой кинематикой отрыва; 6 — прочие линеаменты; 7 — широкие зоны сдвига, выраженные цепочками пулл-апартовых расширений долин; 8 — приразрывные позднечетвертичные впадины изометричной формы в плане



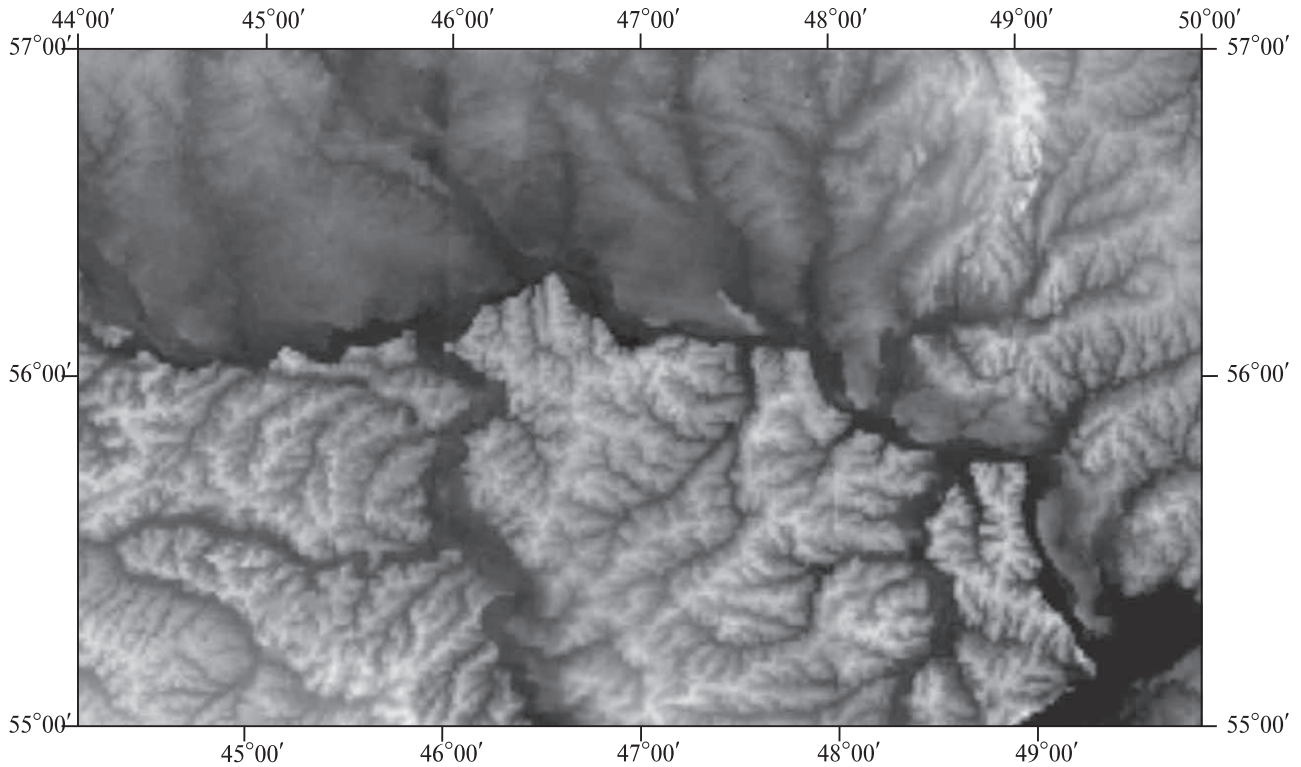


Рис. 37. Циркообразные излучины высокого правого берега Волги в ее среднем течении между Нижним Новгородом и Казанью — Средневолжского уступа (цифровая модель рельефа, трансформированная в коническую картографическую проекцию)

Пояснения см. в тексте

5. Напротив, высокие берега, формировавшиеся при независимо доказанном поперечном сжатии (например, Дона и Северского Донца — в их средних течениях), часто выгибаются не от долины, а по направлению к ней, либо прямолинейны или синусоидальны в плане.

Подчеркнем, что, используя подобный путь диагностики предполагаемой кинематики тектонического смещения по особенностям рельефа, принципиально важным мы считаем исходить из задачи анализа указанных кинематических признаков на материале отдельно взятой долины, а только потом уже, исходя из ориентировки всех линейных структурных долин и водоразделов разного «кинематического типа», делать выводы о характере напряженного состояния

в регионе. Иногда бывает при этом, что такие отдельные (долинные) «морфоструктурные парагенезы» складываются в композитные морфоструктурные рисунки, что позволяет добавить уверенности в определениях.

Так, в частности, бывает в случае предполагаемых пулл-апартовых впадин (структуры растяжения?), которые ассоциируют с внутренней кулисностью, ступенчатостью линии реки (структура сдвига?).

Другая и тоже часто встречающаяся комбинация — регулярно расширенные долины определенного простираения (структуры растяжения?) и подпруживающие их узкие и сопровождающиеся уступами поперечные долины (структуры сжатия?), складывающиеся в ортогональный рисунок.

←

Рис. 36. Предполагаемые глубинные раздвиги осевой зоны Окско-Донского новейшего прогиба, выраженные в рельефе зигзагообразной формой в плане долин с трогообразным поперечным профилем (более подробное пояснение см. в тексте и в подписи к рис. 20 в [Копп, 2004а]).

А — цифровая модель рельефа, *Б* — схема ее дешифрирования.

1–5 — линеаменты с предполагаемой кинематикой смещения: *1* — взбросовой (треугольники — по падению сместителя), *2* — сдвиговой, *3* — сбросовой (бергштрихи — по падению сместителя), *4* — только видимой вертикальной, *5* — с предполагаемой кинематикой отрыва; *6* — прочие линеаменты; *7* — приразрывные позднчетвертичные впадины изометричной формы в плане; *8* — оси некоторых сильно асимметричных водоразделов

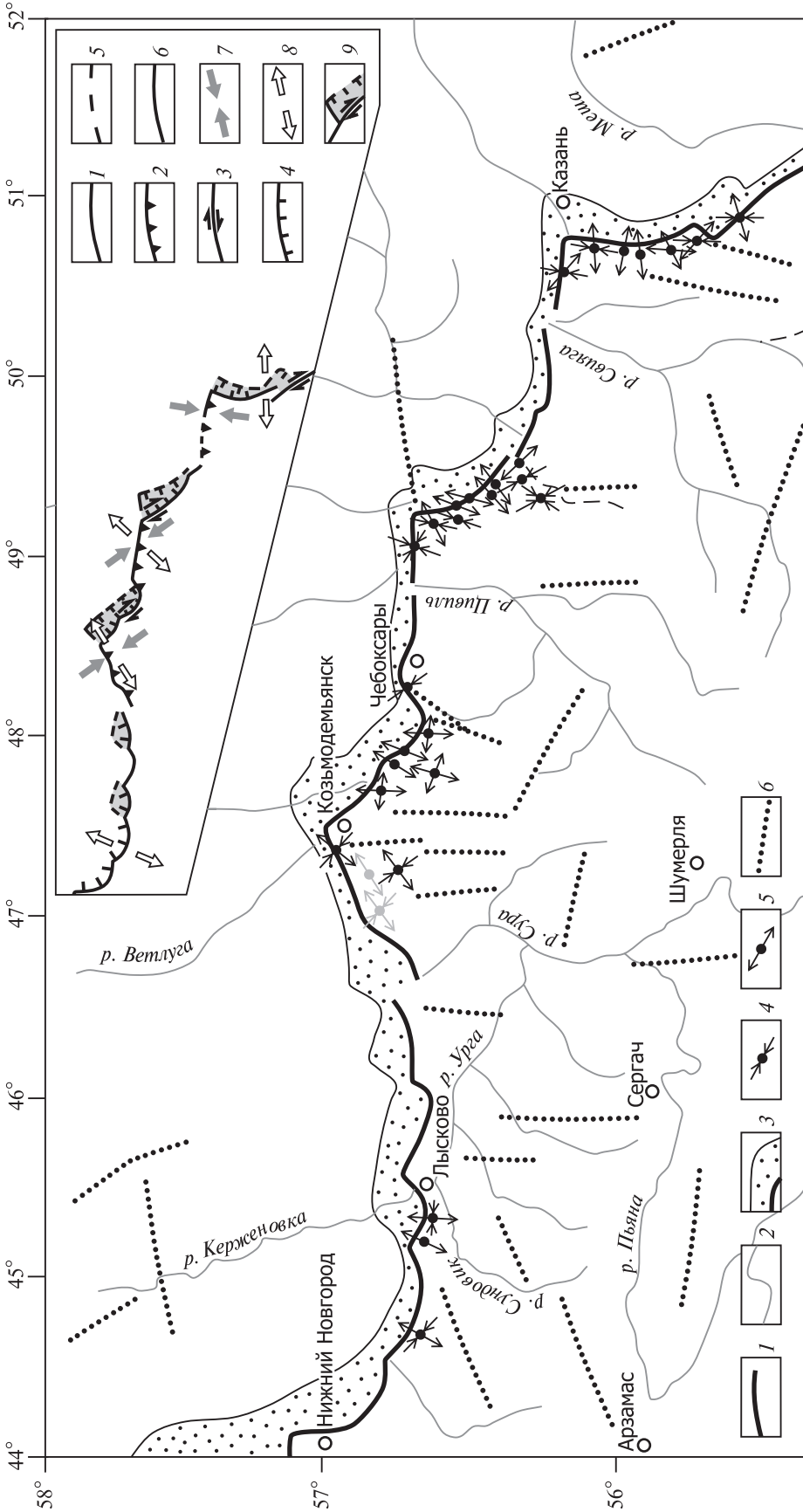


Рис. 38. Структурная интерпретация рельефа Средневолжского уступа [Копш, 2011а]

1 — отрезки Средневолжского уступа; 2 — крупнейшие притоки Волги; 3 — нижний (пойма и I терраса) этаж долины Волги; 4, 5 — точки мезотектонических наблюдений и горизонтальные проекции осей деформации (черные — установленные по замерам в породах перми, серые — то же, в плиоцен-нижнечетвертичных породах); 4 — укорочения, 5 — удлинения; 6 — некоторые линейные элементы без видимого смещения, дешифрирующиеся на цифровых картах рельефа.

На врезке: Средневолжский уступ как зона правосторонней трансформации, состоящая из парагенетически сопряженных трещин и малоамплитудных разрывов разной кинематики: 1 — Средневолжский уступ, представленный в виде зоны концентрации новейших малоамплитудных нарушений; 2–4 — кинематика смещения, установленная по результатам мезотектонических замеров; 2 — взброс, 3 — сдвиг, 4 — сброс и/или отрыв; 5 — кинематика определена неуречно; 6 — кинематика не установлена или не изучалась; 7, 8 — обобщенные горизонтальные проекции (векторы) осей деформации: 7 — укорочения, 8 — удлинения; 9 — позднечетвертичные впадины пулл-апартовой (?) природы

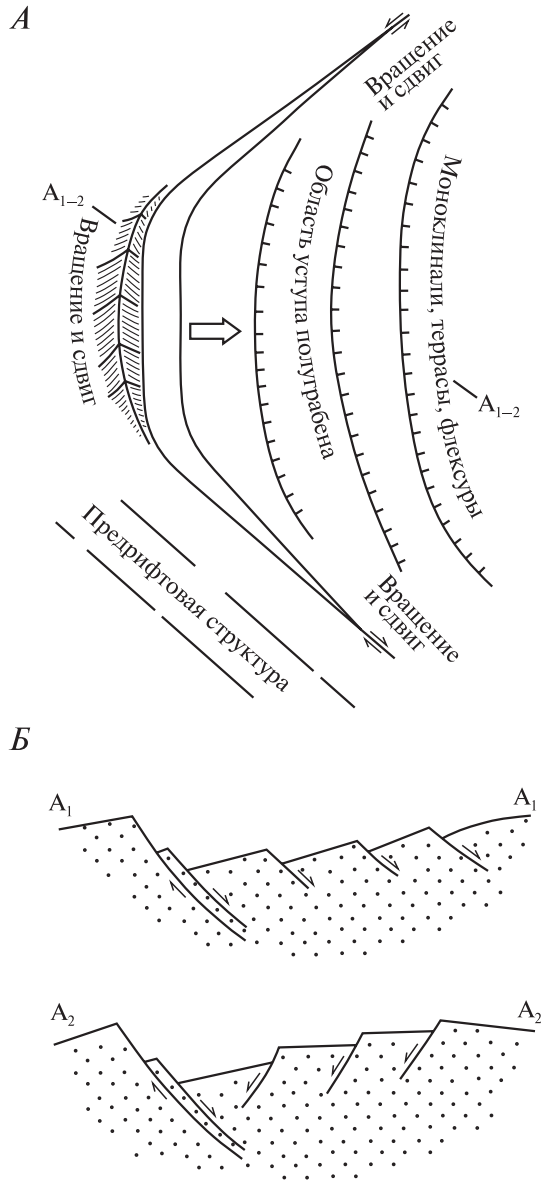


Рис. 39. Вид в плане (А) и гипотетические разрезы (Б) идеального полуграбена [Rosendahl, 1987]

Здесь, по Б.Розендалю, следует обратить внимание на то, что геометрия погружения обуславливает возникновение диагональных сбросо-сдвигов и сдвигов около окончаний полуграбена. Трапецевидное сочетание разрывов разного знака и простирания, аппроксимируясь, превращается в дугу. Кроме того, для обособленного полуграбена характерен преимущественно синтетический (попутный, одинаковый, по Б.Розендалю) характер кинематики второстепенных сбросов по отношению к главному бортовому сбросу (см. разрез A_1-A_1 на рис. Б). Горизонтальная полая стрелка на рис. А указывает на направление компоненты горизонтального отседания (воспроизведено из [Rosendahl, 1987, рис. 3])

Бывает, однако, и так, что характерные структурные рисунки не возникают, и тогда приходится ориентироваться только на проявление элемен-

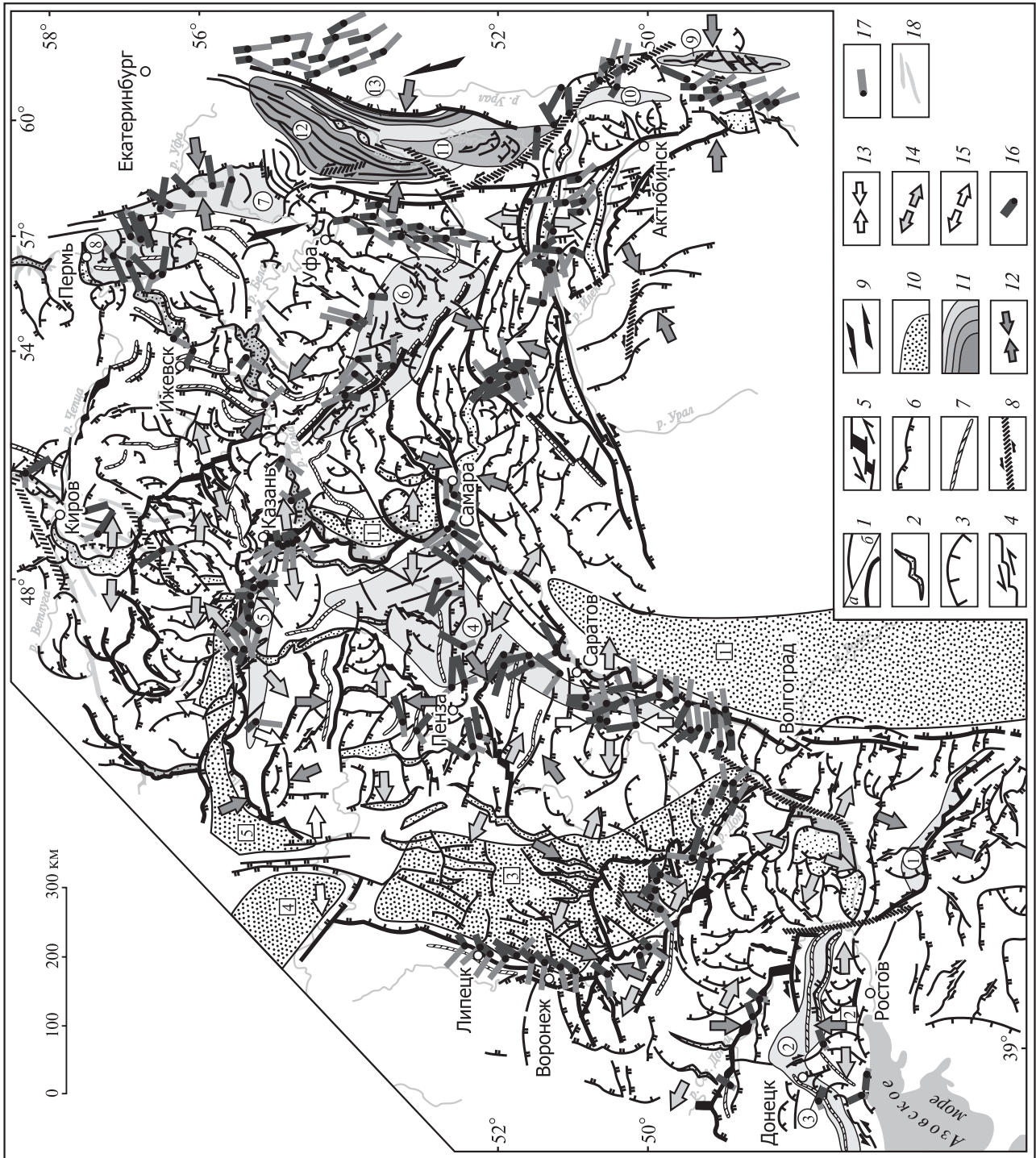
тарных кинематических морфоструктурных парагенезов. Наконец, в любом случае мы стараемся избегать прямого использования наблюдаемых в системе гидросети суммарных рисунков (если даже они напоминают чем-то таковые зон разрывов) без наличия каких-либо кинематических признаков их отдельных частей: такие рисунки, взятые сами по себе, могут быть конвергентными.

В любом случае мы стараемся избегать определения динамической обстановки формирования рельефа путем привлечения только суммарных геометрических рисунков (если даже они напоминают чем-то таковые зон разрывов) без сбора данных о «кинematике» элементарных частей этих рисунков: геометрическая форма, взятая сама по себе, часто бывает конвергентна и может вести в заблуждение.

Поэтому крайне желательно найти какие-нибудь конкретные признаки смещения, горизонтального или вертикального, вдоль отдельно взятой долины, которые могут быть выражены, например, в ее поперечной асимметрии, наличии резкого эрозионного уступа с одной или обеих сторон, кулисности и т.п. — тогда как привычно дешифрируемые прямые долины-линементы, при том, если они еще и бывают симметричны в поперечном сечении, часто оказываются бесполезными для кинематического анализа (как и долины спокойно меандрирующих рек в низовьях, а также прямолинейные ложбины стока любого масштаба, ориентированные строго по уклону рельефа).

При региональных работах рекомендуется также показывать совокупность отдешифрированных структурных линементов на фоне мелкомасштабной (открытой для использования) топографической основы: результаты должны быть проверяемыми.

Приемы соответствующего анализа новейших напряжений подробно рассмотрены и иллюстрированы нами для ряда участков рассматриваемой территории [Копп, 2004а, 2011а; Копп и др., 2000], по ходу изложения материала они будут анализироваться и здесь. В данной же работе мы впервые представляем единую для всей рассматриваемой территории схематическую карту новейших напряжений (рис. 40), которая может сравниваться с результатами применения других методов их картографирования (ср. рис. 1 и 40, а также соответствующие им Приложения). В качестве основы для тектодинамического дешифрирования морфоструктур рельефа использовались мелкомасштабные (1:1 000 000–1:2 500 000) топографические основы и цифровые модели рельефа.



Необходимо отчетливо представлять также, что применение рассмотренных признаков для диагностики и картографирования новейших напряжений никоим образом не является попыткой ревизии геологической или структурной карты, либо даже карты возможных зон трещиноватости. В чем заключается смысл линий, изображенных на рис. 40 и Приложении 2? В большинстве своем, это не прямолинейные линейные элементы, образующие закономерно ориентированные по отношению к странам света системы — «регматическую сеть» (хотя, если таковые попадали в поле нашего внимания по другим причинам, они наносились на карту вместе с остальными).

По ряду геометрических признаков рассматриваемые элементы гидросети напоминают линии разрывов, но подтвержденные съемкой столь протяженные разрывы здесь практически не известны (хотя некоторые, но не все, доказанные разрывы, вроде Жигулевского, в рельефе бывают заметны). Тогда это, может быть, регулярно распределенные на поверхности зоны мегатрещиноватости, а расстояния между долинами одного порядка сигнализируют о величине «шага» таких зон? Однако русла рек очень постепенно мигрируют по горизонтали и также постепенно эродированы и моделируют свои крутые берега, при этом приобретающие форму дизъюнктивов, и тогда что же — всё пронизано крупными зонами трещиноватости, а расстояния между ними способно снижаться до нуля? Это, конечно, также абсурдно.

Учитывая все эти обстоятельства, в одной из предыдущих работ [Копп, 2011а] мы высказали предположение, что форма долины в плане в таких случаях определяется ориентацией законсервированных в породах тектонических напряжений того или иного знака, а при приближении к породному массиву свободной поверхности, будь то поверхность выветривания или эрозии, эти напряжения релаксируются, создавая специфические системы трещин. Последние известны и имеют и свое название в литературе — «трещины разгрузки напряжений», или, кратко, «трещины разгрузки» («release joints», «stress release joints»). Иными словами, боковая эрозия реки идет своим путем, но моделировка формы и направления крутого берега, сложенного коренными породами, происходит в какой-то мере в связи с ориентировкой и знаком преобладающей в строении данного породного массива системы трещин разгрузки, возникших из-за расконсервации тектонических напряжений.

В таком аспекте, рисунок рассматриваемой сети линейных элементов гидросети, не обязательно строго прямых, а часто изогнутых в плане в соответствии с привычными рисунками разрывов разного типа, подчеркивает направления распределенных в коре тектонических напряжений того или иного знака. (Точнее, это горизонтальные проекции плоскостей разрывов, которые теоретически могут возникнуть в соответствующем поле напряжений.)

Можно сказать и по-другому: что изображенные на рис. 40 линии — это выраженные в релье-

←

Рис. 40. Плиоцен-четвертичные напряжения востока Русской плиты и Урала, по данным анализа морфоструктурных рисунков

1–6 — элементы гидросети с признаками тектонического смещения (пояснения также см. в тексте): 1 — элементы 1-го порядка (а), остальные (б), 2 — аномально расширенные и часто зигзагообразные в плане долины, маркирующие раздвиговый тип смещения, 3 — дугообразные неотектонические эскарпы, вогнутые к соседней депрессии рельефа и маркирующие сбросовый тип смещения; бергштрихи — по погружению эскарпа, 4 — кулисные сочленения участков долин, указывающие на сдвиг, 5 — кулисные расширения долин — возможные структуры типа pull-apart в зоне сдвига, 6 — прямолинейные в плане, синусоидально изогнутые или выпуклые к соседней депрессии неотектонические эскарпы, маркирующие взбросовый тип смещения; двойные штрихи — по погружению эскарпа; 7 — гребни некоторых сильно асимметричных водоразделов; 8, 9 — широкие сдвиговые зоны: 8 — выраженные в кулисном расположении элементов гидросети и/или линейных водоразделов, 9 — с неясными ограничениями; 10, 11 — элементы неотектонического районирования: 10 — новейшие прогибы и участки увеличенной мощности плиоцен-четвертичных отложений (цифры в квадратах): 1 — Заволжский, 2 — Тузовский, 3 — Окско-Донской, 4 — Мещерский, 5 — Волжско-Ветлужский; 11 — новейшие поднятия, степень воздымания условно градуирована яркостью тона (цифры в кружках): 1 — Сальско-Маньчский мегавал, 2, 3 — Донецко-Волновахский мегавал (3 — его Волновахский отрезок), 4 — Приволжский сложный новейший мегасвод, 5 — Нижегородско-Чебоксарский новейший мегавал (северная часть Приволжского мегасвода), 6 — Бугульминско-Белебеевский новейший мегасвод, 7 — Уфимский асимметричный горст, 8 — Тулвинский свод, 9 — Мугоджарский новейший мегавал, 10 — Кокпектинско-Кемпирсайский новейший вал, 11–13 — сложный мегасвод внутриплитного новейшего орогена Южного Урала: 11 — древнее ядро, 12, 13 — взброшенные прибортовые блоки (12 — Ямантауский, 13 — Ирендыкский); 12–17 — ориентация векторов нормальных напряжений: 12–15 — по морфоструктурным данным (предположительно) (12 — сжатия, 13 — то же, менее уверенно, 14 — растяжения, 15 — то же, менее уверенно), 16, 17 — по результатам мезотектонических наблюдений: 16 — сжатия, 17 — растяжения; 18 — оси валов некоторых складчатых дислокаций

ефе (и наверняка сильно аппроксимированные при этом) горизонтальные проекции траекторий напряжений.

Данное предположение методически важно, так как, если оно подтвердится на более широком материале, это предоставит возможность дальнейшей апробации и использования рассматриваемого подхода картографирования четвертичных напряжений. (Сказанное не исключает также возможности проявления на отдельных участках зон такого рода действительных малоамплитудных и коротких разрывов и зон трещиноватости, как это имеет место на южном краю Окско-Донского новейшего прогиба — см. рис. 8.)

Результаты тектодинамического анализа рельефа

Материал дешифрирования особенностей плиоцен-четвертичного напряженного состояния рассмотрим для всей нашей территории в направлении «по часовой стрелке» — от Донбасса и юга Прикаспия через Нижнее–Среднее Поволжье и Приволжскую возвышенность к Вятско-Камскому региону и далее — к Приуралью, Среднему–Южному Уралу и Мугоджарам.

На крайнем юго-западном окончании этой «подковы» — в *Ергенях* — тектоногенные черты рельефа определяются двумя мотивами — наличием множества параллельных друг другу субширотных морфоструктур — поднятий и прогибов — в пределах самой Ергенинской возвышенности и резко обрезающим всю их группу с востока субмеридиональным Ергенинским уступом. Субширотные морфоструктуры, контролируемые двумя крупными речными системами — Маныча и Сала — резко асимметричны в поперечном сечении, причем эта асимметрия единообразна (везде аномально крутые и узкие южные склоны, тогда как северные непомерно расширены) и при этом не зависит от участия сил Кориолиса: последнее зависит от положения крутого берега в профиле долины, но у текущего на запад Сала крут правый берег, а у текущего на восток Маныча — левый.

Вместе с тем, асимметрия такого знака может быть в какой-то мере вызвана климатическими причинами (в засушливых районах всегда полого наклонены именно северные склоны как макси-

мально обводненные) — но только частично, ибо в нашем случае геоморфологическая асимметрия наиболее крупных водоразделов повторяет такую тектонического рельефа (например, обращенную к югу Манычскую флексуру и установленный геофизикой глубинный взброс на южном борту Сальско-Манычского мегавала).

В свою очередь, южная экспозиция флексур и взбросов в Ергенях совпадает с вергентностью надвигов на Большом Кавказе, и это позволяет предполагать, что субширотные плиоцен-четвертичные морфоструктуры данного района образовались при направленном от Кавказа давлении к северу. Данный вывод подтверждается и тем, что южный склон Сальско-Манычской гряды вместе с прилегающим берегом Манычской долины ступенчато смещен вправо серией линейных северо-западного простирания (см. рис. 44 в [Копп, 2004а]); при этом область четвертичных смещений (ощущающихся в контуре даже самого низкого, позднечетвертичного, яруса рельефа Маныча) совпадает с отмеченной выше зоной послемеловых сдвигов Сальско-Манычского вала (см. рис. 14 и 15)

Если субширотные морфоструктуры Ергеней возникли при меридиональном, до север-северо-восточного, сжатии, то Ергенинский уступ в такой системе напряжений должен был формироваться с участием поперечного к нему, субширотного растяжения. Соответствующие, более развернутые, аргументы неоднократно рассматривались нами ранее [Копп, 2000, 2004а; Копп и др., 1999].

Структура правого сдвига (того же, северо-западного, простирания) наглядно проявлена в рельефе находящегося к западу *Донецкого края* и ассоциирующихся с ним морфоструктур. И здесь, так же, как в Ергенях, преобладающая и геоморфологически выраженная правосдвиговая деформация, по сути, повторяет таковую в ларамийском структурном рисунке (см. выше) — хотя местоположение конкретных сдвигов не совпадает. Правый сдвиг север-северо-западной ориентировки выражен здесь в сопровождающемся кулисною завершении на одной линии частных новейших поднятий широтного простирания внутри края, выделяемых в работе [Новейшая тектоника..., 2006].

Однако предполагается и еще более крупномасштабная правосдвиговая деформация, проявляющаяся в правостороннем сигмоидальном изгибе всей Донецко-Приазовской мегантиклинали, причем в ней участвует не только само ДСС, но и фундамент Украинского щита, ано-

мально поднятый в Волновахском новейшем вале (рис. 41). Подобная мощная активизация древнего фундамента, несравнимая с умеренной деформацией ДСС в ларамийскую эпоху, может соотноситься только с позднеальпийской коллизией на юге (сопровождавшейся, напомним, повсеместным формированием правых сдвигов в данной части Большого Кавказа).

С режимом новейшего субмеридионального сжатия в Донбассе ассоциирует субширотное растяжение в находящейся к югу Тузловской впадине, которое задокументировано массовым формированием дугообразных линеаментов в целом субмеридионального простирания.

Участие правого сдвига (СЗ–ЗСЗ простирания) широко заметно и непосредственно к северу от Донбасса, в пределах *Дона-Донецкого водораздела*, где оно выражено в кулисной ступенчатости долин Северского Донца, Чира и Среднего Дона, сопровождающейся расширениями долин на сочленениях кулис. Крупнейшая из таких впадин пулл-апартового типа — поперечная Павловская низина в долине среднего Дона [Копп и др., 2000]. В первом приближении, если не считать этих локальных расширений на меридиональных участках, региональные субширотные долины Дона, Северского Донца и Хопра (на его широтных отрезках) — узкие и сопровождающиеся крутыми склонами, особенно с южной стороны.

В плане эти долины в целом прямолинейные или прямолинейно-ступенчатые (на участках развития сдвиговой деформации), при этом менее всего изогнуты строго широтные отрезки, но и они бывают осложнены некоторой волнистостью, причем дугообразные участки крутых берегов здесь геометрически «наступают» на долину своими выпуклыми вершинами — наподобие козырьков надвигов (см., например, рис. 15 в монографии [Копп, 2004а], где такие участки осложняют широтный отрезок Дона в районе Вешенской). Все эти признаки (продольное простирание к структуре, узкий поперечный профиль и прямая, либо слабо волнистая форма в плане) характерны для долин, развивающихся при поперечном к ним сжатии — и действительно, мезотектонические наблюдения на таких участках показывают увеличение концентрации взбросовых борозд скольжения [Копп, 2004а; Копп и др., 2000].

Если рассматривать в региональном плане рассеченный крупными широтными долинами неотектонический рельеф в интервале от Азовского моря до симметричной последнему

Окско-Донской низины (новейшей впадины, развивавшейся со среднего миоцена), то его кульминацией служит Донецкий кряж, сильно «смещенный» в пределах данного регионально-го профиля к югу, к Азовскому морю.

К северу же от кряжа рельеф очень постепенно, хотя и неровно, понижается вплоть до самого Окско-Донского прогиба, и, соответственно, здесь мы, так же, как и в Ергенях, встречаемся с «кавказской» южной вергентностью. Точно так же скошена в целом к югу (ЮВ) находящаяся на юго-западном продолжении кряжа Волновахская новейшая мегантиклиналь (наклон нижнемеловых слоев на ее юго-восточном крыле составляет до 15°), к тому же она имеет вид выпуклой к юго-востоку дуги, выгибающейся («надвигающейся»?) к Таганрогскому заливу Азовского моря (см. рис. 41)

Однако на фоне этой южной «вергентности» 1-го порядка проявляется встречная (антитетическая) асимметрия частных мегаформ. Так, главный водораздел — Донецкий кряж — заметно скошен к северу в соответствии с «вергентностью» Северодонецкого взбросо-сдвига. Далее к северу в поперечном профиле Дона-Донецкого водораздела (Кантемировского поднятия) присущая вышерассмотренному Донецкому кряжу поперечная скошенность к северу еще более усиливается, а в строении наиболее северного Калачского поднятия она достигает такой степени, что сама ось широкого (многие десятки километров) водораздела резко приближена к долине второстепенной реки Савалы, практически совпадая с бровкой ее берегового обрыва.

Так же резко асимметрично и небольшое Острогожское (Лискинское) приразрывное поднятие, буквально нависающее над Доном (что выражено и в названии присутствующей здесь железнодорожной станции — Откос). Здесь мезотектонические наблюдения также зафиксировали увеличение взбросовой компоненты смещения [Копп и др., 2000], а все это в совокупности показывает нарастающее с юга на север некоторое надвигание масс на Окско-Донской прогиб (и при этом происходит оно на фоне общего снижения новейшего рельефа, будучи выражено только попутными к общему погружению резкими взбросовыми уступами). Линии последних, в совокупности с диагональными сдвиговыми отрезками уступов, образуют специфическую форму южного борта Окско-Донского прогиба — синусоидально изогнутую в плане компрессионного шва типа «коленчатого вала».

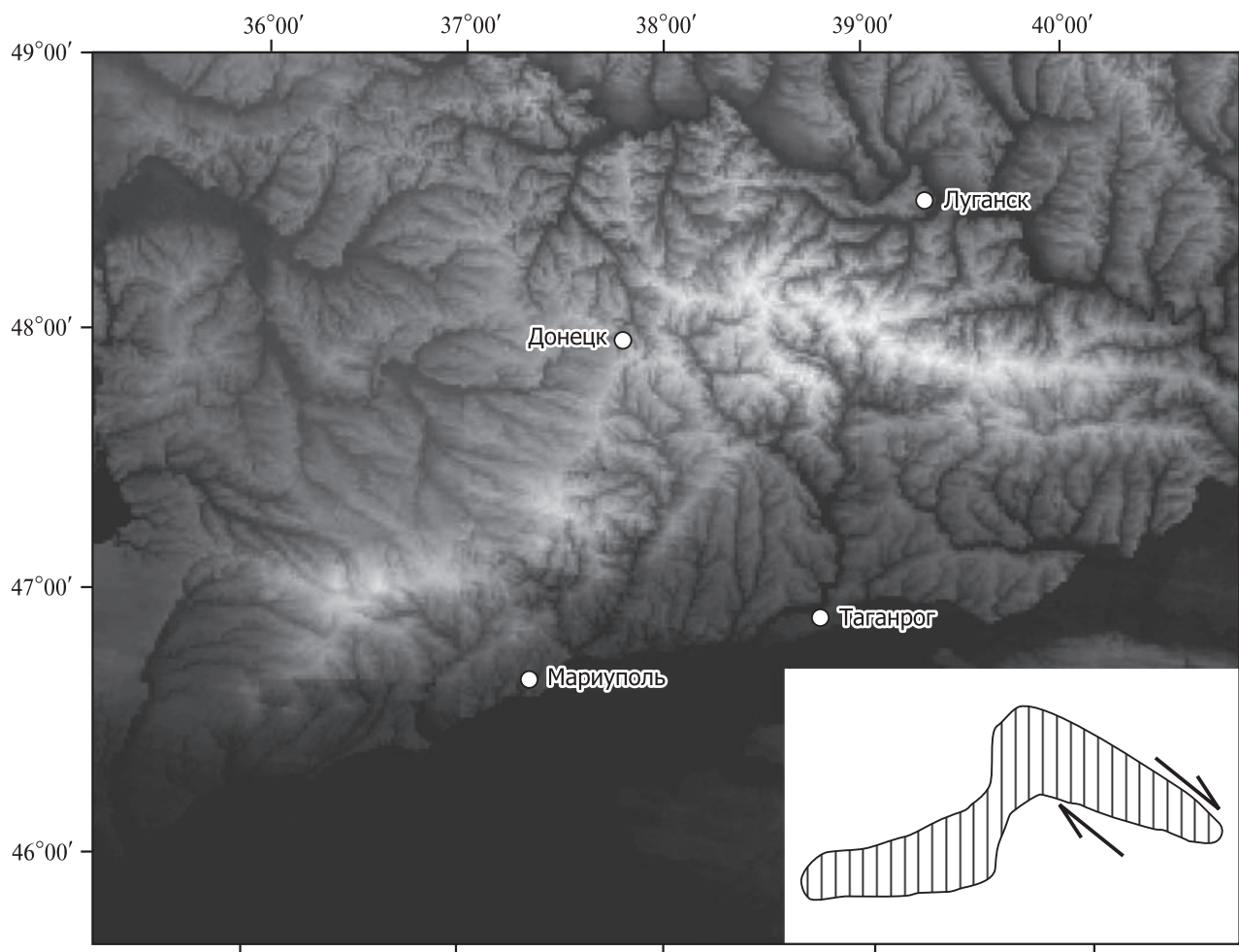


Рис. 41. Связанный с правым сдвигом сигмоидальный изгиб оси Донецко-Приазовской новейшей мегантиклинали (цифровая модель рельефа)

На врезке — принципиальная схема S-сигмоиды правосдвиговой кинематики

Отмеченная выше закономерная особенность рельефа региона, условно названного Азово-Донским водоразделом — смещенность его оси к югу, при наличии уступов обратной (северной) экспозиции и с признаками их возникновения в остановке сжатия, по сути, так же, как и в Ергенях, повторяет строение поперечного профиля Кавказского орогена: его южную вергентность (подлинную), обусловленную поддвигом Закавказской плиты, на северном борту тоже нарушаемую противоположной вергентностью: но только в кавказском случае присутствуют настоящие севервергентные надвиги.

Морфоструктуры растяжения в данной части рассматриваемой территории тоже широко представлены и, прежде всего, дугообразными уступами (как отмечалось, их экспозиция и вогнутость указывают на направление преобладающего движения масс при растяжении (более подробные

ссылки см. в работе [Копп, 2011а]). Особенно крупное их семейство захватило большую часть Доно-Донецкого (Кантемировского) водораздела, где их вогнутость указывает на течение масс к ЮВ, в сторону Прикаспийской синеклизы, которая как раз расширена к западу в данном месте [Копп, 2004а; Новейшая тектоника..., 2006].

Это согласуется с тем, что, как мы упоминали выше, в пределах Доно-Медведицкой зоны присутствует каскад выраженных в слоях юры–мела флексур восток–юго-восточной экспозиции (см. рис. 1 и 28, а также Приложение 1).

Другая группа циркуобразных излучин расположилась между субмеридиональной (ССВ) осью Приволжской возвышенности и параллельным ей руслом Волги. Их структурно-геологическое изучение на участке между Саратовом и Камышином показало, что они образовались в обстановке поперечного субширотного растяже-

ния, при этом на их отогнутых окончаниях концентрировался сдвиг: на окончаниях северо-восточного простирания — левый, а на окончаниях северо-западного — правый [Копп, 2004а; Копп и др., 1999]. Обстановка субширотного растяжения дополнительно подтверждается присутствием Балыклейских плиоценовых грабен на своде Приволжской возвышенности.

Выраженное в рельефе субширотное растяжение отчетливо ощущается и к западу от последней, в пределах *Окско-Донского новейшего прогиба*. Только здесь оно представлено не дугообразными, а в целом прямолинейными уступами долин Верхнего Дона, Воронежа и др. Асимметричны не только сами долины, но и разделяющие их водоразделы, оси которых сильно приближены к крутому берегу реки, и все это создает подобие серии наклонных блоков, образующихся в широких рифтах при растяжении по типу простого сдвига. Особенно характерно это для западного борта Окско-Донского прогиба, сопровождающегося крутым и ступенчатым Верхнедонским денудационным уступом, в осевой же части прогиба и на его пологом восточном борту субширотное растяжение создало систему субпараллельных меридиональных долин, иногда прямых в плане, а часто — зигзагообразных, но всегда — аномально расширенных (особенно за счет низкого, позднечетвертичного яруса рельефа — I–II террас и поймы), плоских и корытообразных в поперечном сечении (см. рис. 37). Встречающиеся здесь же широтные долины или боковые притоки главных меридиональных, напротив, всегда узкие и, при пересечении с первыми, их подпруживают (см. рис. 37, а также рис. 9 в [Копп, 2004а]).

Сводная часть неотектонического *поднятия Приволжской возвышенности* по облику своей морфоструктуры принципиально отличается от Окско-Донского прогиба. Здесь также встречаются довольно широкие и длинные меридиональные долины характерной зигзагообразной формы в плане, предположительно сформированные при растяжении (Сура, Свяга), причем вместе с таковыми Окско-Донского прогиба они образуют региональную кулисную зону левосдвигового типа, вытянутую в северо-восточном направлении — Сурско-Цнинскую (см. Приложение 2). Однако резко доминируют здесь узкие долины, возникшие непосредственно в зонах сдвигов и параллельные им, кулисного строения и с пулл-апартовыми расширениями (причем и для них также больше характерны левые сдвиги аналогичного северо-

восточного простирания). Встречаются и правые сдвиги, северо-западного простирания, но приоритет левых бросается в глаза и согласуется с широким и доминирующим развитием левых сдвигов в коренной структуре зон дислокаций Пачелмского авлакогена, а также в Жигулевских и Саратовских дислокациях.

Таким образом, характерная для коренной сдвиговой тектоники данного района тенденция к восточному направлению выжимания масс, в сторону соседней Прикаспийской синеклизы (для чего наиболее оптимальны здесь именно левосдвиговые смещения к СВ), проявляется и в морфоструктуре. Параллельно с диагональными сдвиговыми (разного знака) присутствуют узкие субширотные долины коленообразной или синусоидальной формы, предположительно связанные со сжатием (Алатырь, Пьяна и др.).

В целом рельеф Приволжской возвышенности формировался при субмеридиональном сжатии в сдвиговом режиме — как и находящиеся по соседству перечисленные зоны дислокаций (хотя сами они в рельефе выражены слабо, если не считать Жигулевских, выделяющихся только благодаря выходу гряды устойчивых к размыву верхнепалеозойских известняков). Парадокс, однако, в том, что на севере Приволжской возвышенности этот рельеф меридионального сжатия образовался на структурах, формировавшихся при субширотном (южные валы Вятских дислокаций) или СЗ–ЮВ сжатии (Борлинский, Присурский валы). Таким образом, четвертичное поле напряжений здесь наложено на более раннее в пределах той же, позднеальпийской, эпохи.

Режим меридионального сжатия (в сдвиговом поле) выражен в пределах всей Приволжской возвышенности, но концентрацию его взбросовой разновидности можно видеть только на самом севере, где выделяется отдельная система линейных гряд субширотного простирания, объединяемая нами в Нижегородско-Чебоксарский новейший вал. Именно он наиболее резко наложен на возникшие при изгибе пермских и мезозойских слоев субмеридиональные валы Вятских дислокаций. У самого же широтного берега Волги, по-видимому, посредством упомянутой в методическом разделе «переиндексации» осей тензора напряжений, установленный по рельефу режим сжатия довольно быстро сменяется режимом сбросовым с растяжением, постепенно меняющимся от субширотного в районе Камского Устья и Казани до ВСВ у Чебоксар, СВ у Космодемьянска и, возможно, ССВ — у Нижнего Новгорода.

В рельефе смена ориентировки вектора растяжения прослеживается по последовательному изменению ориентировки пулл-апартового типа расширений волжской долины, форма которых наиболее отчетливо читается по границе самого нижнего террасового яруса долины, выделяющегося черным тоном на цифровой модели рельефа (см. рис. 38). Высокий правый берег Волги на всем протяжении здесь ступенчатый, при этом расположение кулис и сопряженных с ними пулл-апартовых впадин отчетливо указывают на правый сдвиг, постепенно меняющий свое направление от СЗ на востоке до субширотного на западе. Подобное вращение осей деформации по латерали находит подтверждение и в мезотектонических данных (см. рис. 39).

Вятские дислокации в пределах **Вятско-Ветлужского водораздела** также слабо выражены в аккумулятивном четвертичном рельефе бассейна одноименной долины, что особенно очевидно на их наиболее поднятом северном отрезке (за пределами Вятского увала), где одноименная виргация к тому же и более всего сжата; выделяются в рельефе (в виде литоморфных гряд) только в центральном сегменте (Вятские увалы), где присутствуют меридионально ориентированные пачки крепких известняков казанского яруса.

Основной же стиль морфоструктуры района дислокаций создается субширотными (до ЮВ, как Вятка в нижнем течении) узкими antecedentными долинами, выраженными линеаментами, и разделяющими их широкими уплощенными водоразделами. О характере напряженного состояния можно судить по строению центра Вятско-Ветлужского участка, где, во-первых, расширены меридиональные отрезки крупных долин, а, во-вторых, отчетливо проявляется правый сдвиг северо-западного простирания вдоль нижнего отрезка Вятки. Он выражен дробной кулисностью долины, с ритмично повторяющимися, меридионально вытянутыми пулл-апартовыми расширениями и с системой подходящих с запада к ступенькам излома долины (сочленением кулис) линеаментов северо-восточного простирания, предположительно образующих домен оперения из R_1 -сколов противоположного (левостороннего) знака. Эти линеаменты слегка изогнуты (в данном случае, к северу), что согласуется с возможным вращением ограничиваемых ими блоков по часовой стрелке — попутным направлению главного — правосдвигового — смещения вдоль долины Вятки.

Наряду с указанными индикаторами отметим также общее обращенное к западу выгибание до-

лин на западе Вятско-Ветлужского водораздела, причем их отрезки северо-западного простирания сопровождаются правосдвиговыми кулисами, тогда как отрезки северо-восточного простирания — левосдвиговыми (см. Приложение 2).

Все эти черты морфоструктуры данного района свидетельствуют о его субширотном растяжении и некотором субмеридиональном укорочении в сдвиговом режиме. Кроме того, на сочленениях отрезков разного простирания некоторые реки расширяются, свидетельствуя о возрастании субширотного растяжения. Любопытно, но по всем отмеченным чертам морфоструктурный рисунок здесь напоминает кинематику концентрической складки продольного изгиба, если ее рассматривать в поперечной плоскости, перпендикулярной шарниру. Там тоже с обоих боков присутствует своего рода сдвигание — межслоевое проскальзывание на крыльях (при этом разного знака на противоположных боках), а зонки растяжения в замке такой складки напоминают расширения долин.

Если же вернуться к анализу общей морфоструктуры рассматриваемого участка, его суммарный рисунок, образованный линеаментами с предполагаемыми смещениями разного знака, формирует овальную (или миндалевидную) в плане область концентрации четвертичных напряжений с общим удлинением в субширотном (ЗСЗ–ВЮВ) направлении и некоторым субмеридиональным укорочением в сдвиговом режиме. В центре этого овала наблюдается ступение правильных дугообразных уступов субмеридионального простирания с вогнутостью, направленной к центру овала; при этом обращенные навстречу друг другу вогнутые уступы дуг противоположной полярности окружают нечто вроде центрального грабена.

Указывая все эти детали, еще раз подчеркнем, что, как и всюду, в данном случае тоже имеются в виду только намечающиеся смещения — тогда как определение самого их знака не подлежит сомнению. Такого рода примеры еще и еще раз возвращают к мысли о том, что в данном случае рисунок линеаментов разнообразной формы отражает конфигурацию траекторий тектонических напряжений.

Таким образом, для Вятского региона отмечается тот же режим субмеридионального сжатия/субширотного растяжения, что для более южной части рассматриваемой территории. При этом плиоцен-четвертичное поле напряжений резко наложено на более древнее (в пределах новейшего этапа), которое создало Вятские складчатые дислокации.

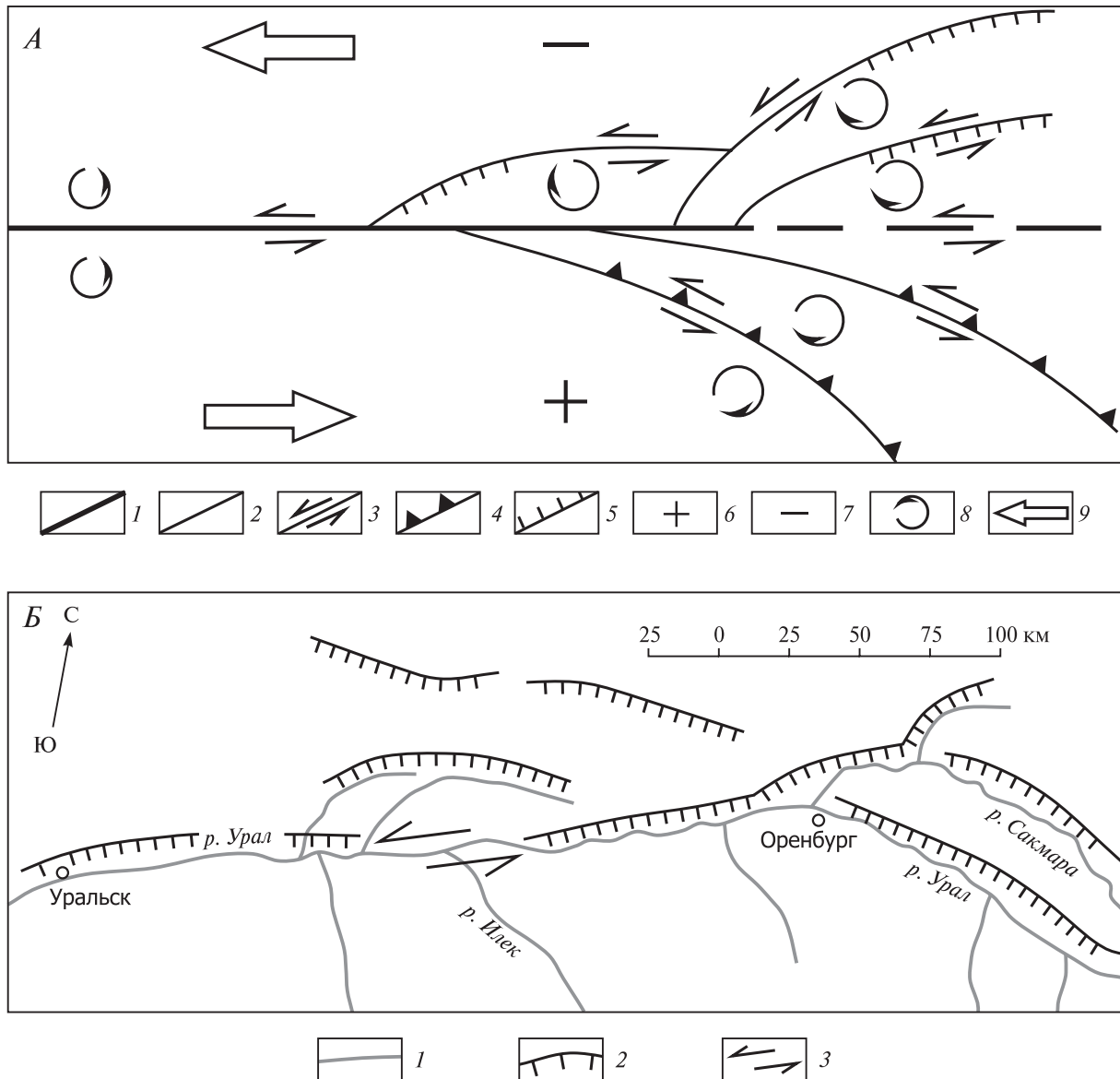


Рис. 42. Рисунок разветвления долин как один из индикаторов сдвига

А — структурный рисунок области веерообразного расщепления сдвига (принципиальная схема, план) [Копп, 1997]. Ветви веера дугообразно изогнуты, но в разных крыльях сдвига — в противоположные стороны по отношению к его линии: с выпуклостью, указывающей направление смещения его соответствующего крыла. Более подробное пояснение см. в работе [Копп, 1997, с. 105–108]

1 — разрывы 1-го порядка; 2 — разрывы 2-го порядка; 3 — сдвиги; 4 — надвиги (вершины треугольников — по падению сместителей); 5 — сбросы (бергштрихи — по падению сместителей); 6, 7 — квадрант: 6 — сжатия, 7 — растяжения; 8 — направление поворота блоков вокруг вертикальной оси; 9 — направление смещения крыла основного сдвига.

Б — разветвление притоков р. Урал и субширотный левый сдвиг вдоль ее долины, независимо выраженный в структурных признаках ([Копп, 2004а], см. также рис. 1 и Приложение 1) и одновременно угадывающийся в разном направлении выпуклости дугообразных левых и правых притоков.

1 — реки; 2 — эрозионно-тектонические уступы (бергштрихи — по экспозиции уступа); 3 — направление сдвига

В рельефе **водораздельного пространства Камы-Урала** (Бугульминско-Белебеевская возвышенность и Общий Сырт) противоречиво сочетаются элементы, связанные с двумя противодействующими и наверняка физически раз-

новозрастными полями напряжений: меридионального сжатия — широтного растяжения и меридионального растяжения.

Первое, лучше всего представленное на севере данной области, в значительной мере повто-

ряет особенности морфоструктуры севера Приволжской возвышенности и Вятско-Ветлужского водораздела. Определяющими здесь являются широкие субмеридиональные отрезки долин (в том числе Волги на западе) и выраженные кулисно-линейные элементы рельефа левые и правые сдвиги, соответственно северо-восточного — восток-северо-восточного и северо-западного простираения. Они образуют сужающийся к северу клиновидный блок, по биссектрисе северного угла которого определяются примерно меридиональное, с некоторым поворотом по часовой стрелке, сжатие и поперечное ему растяжение. Здесь существенно преобладают широко рассредоточенные левые сдвиги, что характерно и для соседней к западу части Приволжской возвышенности в Жигулевских, Саратовских и Керенско-Чембарских дислокациях (где левые сдвиги установлены нами по геологическим данным).

Левосдвиговый домен продолжается и на юго-восток, определяя морфоструктуру Общего Сырта и бассейна широтного отрезка р. Урал, однако к востоку простираение левых сдвигов все более поворачивает по часовой стрелке к широтному (до ЗСЗ) направлению около Уральского хребта, показывая возрастание роли поперечного к нему сжатия. Долины Сакмары, Илека и прочих притоков р. Урал разветвляются наподобие сдвигового веера, в котором по форме второстепенных ветвей можно угадать квадранты сжатия и растяжения зоны огромного сдвига (рис. 42). Линеаменты данной зоны выражены обращенными также к югу уступами рельефа и соответствуют реально существующим новейшим флексурам и разрывам северного борта Прикаспийской синеклизы. В опущенных южных крыльях этих флексур в южном квадранте рассматриваемой левосдвиговой зоны сформировались поперечные ей меридиональные валы и складки пред- и послеакчагыльского возраста (плиоцен), также свидетельствующие о левосдвиговой кинематике смещения по субширотным линеаментам (см. рис. 1). При этом данные линейные пликвативные структуры почти параллельны Южному Уралу и Мугоджарам, согласуясь с «антиуральским» широтным сжатием, и здесь мы, следовательно, наблюдаем очень постепенный переход от «кавказского» на западе (Бузулук) до «уральского» (Оренбург) на востоке поля напряжений (см. ниже).

Таким образом, на рассматриваемом участке по особенностям рельефа отчетливо определяется приоритет левосдвиговой тектоники. Единст-

венный и узкий, но зато весьма протяженный, регионального значения, и почти строго прямолинейный правый сдвиг проходит здесь вдоль оси Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Он находится на прямом продолжении рассмотренного выше правого сдвига вдоль нижнего отрезка Вятки, но, в отличие от него, образовался без участия растяжения, а скорее даже при некотором сжатии². Последнее, видимо, определило аномально высокий подъем Бугульминско-Белебеевской возвышенности — господствующего в данном районе водораздела бассейнов рек 1-го порядка — Камы и Урала и, кроме того, ее сильную вытянутость в северо-западном направлении, а также согласные с этим продольное удлинение и поперечное укорочение, установленные по данным мезоструктурных наблюдений [Колесниченко, 2013].

Второе (и прямо конкурирующее с первым) поле напряжений, характерное для рассматриваемого участка, — это, как отмечалось, поле субширотного сжатия (отмечавшиеся выше присдвиговые новейшие валы) и ассоциирующего с ним субмеридионального растяжения (систематическое расширение субширотных долин бассейна Урала). Выраженность этого поля увеличивается к востоку, по направлению к одноименному орогену, и уже несомненно связано с его влиянием. Если на западе Общего Сырта еще можно наблюдать конкурентные соотношения этих двух полей, выраженные в рельефе пересечениями принадлежащих им морфоструктур, то по мере приближения к Уралу субмеридиональная (до СВ) ось укорочения первого поля после постепенного разворота по часовой стрелке становится сначала восток-северо-восточной, а затем субширотной. Последовательный разворот оси укорочения по часовой стрелке к широтному положению отмечался нами и по данным мезоструктурных наблюдений в палеозойских породах Общего Сырта [Копп, 2005].

Морфоструктура *новейшего Урала* определяется сочетанием элементов древнего (доновейшего?) рельефа, законсервированного на участках его наименьшей переработки, например, на Среднем и частично Южном Урале (в пределах последнего — осевое пологое поднятие Уралтау между интенсивно деформированными в плио-

² Ф.Н. Юдахин, Ю.К. Щукин и В.И. Макаров [2003] считают этот структурный линеамент (Оренбургско-Уржумский, как они его именуют) границей формировавшихся в разных режимах новейших структур Предуралья и таковых Прикаспийского прогиба.

цене–квартере флангами орогена: блоком Ямантау на западном и мегантиклиналью Ирендык на восточном), создающими своего рода бортовые «уши» поднятия. Максимум эта переработка достигает на Северном, востоке Среднего и особенно на Южном Урале. Рядом авторов уже высказывалось предположение о том, что новейшее горообразование Уральского внутриплитного орогена вызвано давлением соседних платформ, активизированных в результате происходивших в кайнозойское разновременных коллизий Евразийской плиты с «гондванскими» плитами на юге. При этом разные исследователи предлагают несколько неодинаковые схемы взаимодействия давлений, оказываемых плитами с запада и востока на Урал [Копп, 1999, 2004б, 2005; Леонов, 1995; Лёвин, Фомин, 2001; Тевелёв, 2003; Юдахин и др., 2003], но все они по своему учитывают влияние этих давлений на особенности формирования новейшего рельефа.

Главный результат новейшей переработки для всего Урала — формирование (судя по всему, в обстановке сжатия) флексурных неотектонических уступов на его флангах. Особенно внушителен уступ восточного борта, почти непрерывно протягивающийся от Южного до Северного Урала включительно; аналогичный имеется и на западе Северного Урала, но он менее резок; для западного фланга Среднего Урала протяженные уступы такого рода не характерны. Формирование непрерывного уступа на востоке Урала аргументированно связывается с поддвигом западносибирской и казахстанской литосферы под Урал [Лёвин, Фомин, 2001].

В южном направлении вдоль Урала сравнительная крутизна западного и восточного бортов последовательно меняется на обратную: Южный Урал становится «дивергентным», при сохранении несколько большей крутизны восточного борта, а в Мугоджарах асимметрия орогена уже полностью обратная: западный фланг крутой и снабженный взбросом, а восточный — пологий и широкий. Этот факт, вкупе с особенностями сдвиговой тектоники, позволил и здесь объяснить асимметрию поддвигом литосферы, но только уже с запада, от Прикаспийской синеклизы [Копп, 2004б, 2005] (см. рис. 3).

В целом же обязательная обращенность крутых склонов Урала к тем или иным участкам с утоненной корой в соседних синеклизах и плитах позволила высказать предположение о проявлении своего рода внутриплитной «мини-субдукции» [Копп, 2005]. В интервале Среднего–Северного Урала подвиг утоненной коры со-

временной Западно-Сибирской молодой платформы и самого Урала происходил под Восточно-Европейский кратон, а на отрезке Мугоджар прикаспийская литосфера погружалась под Кокчетавский массив Казахстана. Дивергентный и аномально поднятый Южный Урал — продукт уже лобового столкновения («внутриплитной коллизии») мощных и жестких литосфер Волго-Уральской антеклизы на западе и Кокчетавского массива на востоке [Копп, 2005]. Направление внутриплитного поддвига во всех указанных случаях запечатлено и в особенностях формы в плане сегментов Уральского новейшего орогена: все они выгнуты в виде трапеции, либо дуги, причем сопровождающийся сдвигами изгиб к востоку Мугоджарской дуги как бы облекает Прикаспийскую синеклизу и согласуется с восточным перемещением ее субдуцирующей литосферы, а таковой к западу — Южно- и Средне-Североуральских сегментов — конформен с западным перемещением литосферы Казахстана и Западной Сибири (см. рис. 3).

Другим, не менее важным, элементом новейшей морфоструктуры Урала являются диагональные к нему, а иногда и продольные сдвиги, выраженные в рельефе зонами кулисного окончания хребтов на одной линии, коленчатыми изгибами последних, а также присутствием в одном из крыльев предполагаемого сдвига «дополнительных» продольных хребтов и других структурных линий, образовавшихся в результате присдвигового смятия смещаемого крыла в его фронтальной части (например, Ашинский надвиг и ассоциирующие с ним складки, гряда Полюдов Камень и др.). Присутствие сдвигов отмечалось разными авторами [Копп, 1999, 2005; Тевелёв, 2003; Юдахин и др., 2003], но здесь мы рассмотрим их несколько шире.

В рельефе Урала представлены сдвиги разного знака: левые и правые, соответственно северо-западного и северо-восточного простирания, которые в совокупности указывают на поперечное к Уралу широтное сжатие, однако в его структуре они распространены неравномерно. Первые преобладают в северной части орогена, их домен начинается уже на севере Южного Урала от Ашинского поперечного «горста», а далее продолжается на хорошо выраженные по разным признакам (и в том числе, в морфоструктуре), изучавшиеся нами левые сдвиги Центрального Приуралья, в Уфимском плато и Тулвинской возвышенности [Колесниченко, 2010, 2013; Копп и др., 2008], далее к северу — это протяженный уступ на границе Среднего Урала и более под-

нятого Северного, косо (СЗ–ЮВ) обрезающий субмеридиональные линейные морфоструктуры последнего, а еще далее — такие новейшие левые сдвиги, как Полюдов Камень и гряда Чернышева.

Напомним, что выраженные в структуре чехла Западно-Сибирской плиты левые сдвиги того же простирания откартированы почти во всей полосе ее сочленения со Средним и Северным Уралом (Лозьвинские, или Ивдельско-Серовские, дислокации).

Таким образом, Средний–Северный Урал — это обширная область тотального проявления левосдвиговой деформации. Однако приоритет последней ощущается и в более южных районах Урала, где поле сдвигов осложнено присутствием многочисленных правых сдвигов. Однако левый сдвиг выражен и там, но только в еще более крупном (мега тектоническом) масштабе — в левокулисном расположении всех звеньев Уральского новейшего орогена, от Мугоджар до Северного Урала включительно, проявляющимся прежде всего в рельефе (см. Приложение 2).

Приоритет левых сдвигов в новейшей геологической и геоморфологической структуре всего Урала легче всего, на наш взгляд, объясняется тяготением последнего к западному краю Перииндийской коллизионной области, сопровождающемся зоной граничных левых сдвигов, но и, кроме того, — большим проникновением к северу Индийского субконтинента-индентора по сравнению с отстающим от него соседним Аравийским. Это опережение предоставляет гораздо большую свободу для западного, а не восточного вектора смещения выжимаемых масс, лучше всего обеспечиваемого в данной ситуации именно левыми сдвигами (ориентированными на Урале, напомним, СЗ–ЮВ); одновременно на северо-западе по соседству находится и Печорская синеклиза — геодинамическое убежище, притягивающее сдвигаемый блок (см. рис. 35).

Вместе с тем, потенциально способные возникнуть в данном поле правые сдвиги (поперечного к левым, СВ, простирания) энергетически невыгодны: их северные крылья в данной динамической ситуации смогли бы перемещаться по широте только в восточных румбах, где, однако, регионально повышенное коллизионное сжатие оказалось бы серьезным препятствием.

Правые сдвиги сосредоточены только на юге — на Южном Урале и в Мугоджарах, и опять же это логично связывать с влиянием краевого эффекта соседней коллизионной области, но

только теперь уже Аравийской — менее мощной, но зато находящейся недалеко на юге и, кроме того, сопровождающейся (на восточном краю) правыми сдвигами, от меридионального (Восточный Иран) до северо-западного простирания (Копетдаг). Однако и здесь, как и на севере, можно заметить следы параллельного действия совершенно независимого, но совместимого в данном случае с указанным, фактора, а именно — фактора присутствия рядом крупного геодинамического убежища — Прикаспийской синеклизы (см. рис. 34). Выжимание масс к последней лучше всего обеспечивается именно правыми сдвигами, северо-восточного простирания, юго-восточные крылья которых уводят материал к западу от вышеуказанной области аномально повышенного сжатия на востоке и одновременно приближают его к Прикаспийской синеклизе. Северное перемещение по левым сдвигам, северо-западной ориентировки, напротив, уводило бы материал от синеклизы и утыкалось в мощную кору Волго-Уральской антеклизы (см. рис. 34).

Многие из рассмотренных особенностей морфологии Урала заметны и в новейшем рельефе *Приуралья*. Нами и другими исследователями уже не раз отмечалось наличие вытянутой параллельно Уралу цепочки новейших поднятий: Тулвинского, Уфимского, Бугульминско-Белебеевского и Сыртовского [Кисин, 2008; Колесниченко, 2013; Копп и др., 2008].

Некоторые из них (Тулвинское, Уфимское) сами имеют уральское простирание и даже снабжены уступами и разрывами на западном (Тулвинское) и особенно восточном (Тулвинское, Уфимское) краях, либо резко обрезаны на востоке (Белебеевский свод) — в соответствии с общей поперечной асимметрией Урала. Для Тулвинского и Уфимского поднятий установлено участие в их морфоструктуре левых сдвигов северо-западного — север–северо-западного простирания, характерных и для соседней части Урала. На первом из них левые сдвиги подчеркиваются кулисно организованными цепочками поднятий (ссылки см. в работе [Копп и др., 2008]), а на втором левый сдвиг вдоль северного отрезка Суксунского разрыва, выраженный и в мезоструктурном материале, отчетливо дешифрируется в виде идеально прямого эрозионного уступа север–северо-западной ориентировки — в отличие от более дробно изогнутого южного меридионального отрезка (по мезоструктурным данным, взброса) [Колесниченко, 2010, 2013; Копп и др., 2008].

Еще дальше к западу «уральское» поле напряжений ощущается в аномальном расширении субширотных, до северо-восточного простирания, отрезков коленчато изогнутой (неоднократно) долины Камы [Копп и др., 2008]. К таким участкам приурочены все главные водохранилища в среднем течении Камы, от Соликамска до Елабуги. Поперечное к водохранилищам тектоническое растяжение подтверждено мезоструктурными данными, а в морфологии данной части долины оно слегка угадывается по зигзагообразной форме берегов, способных совместиться при их геометрическом сближении. Кулисно расположенные водохранилища (глубинные раздвиги?) формируют широкую правосдвиговую зону северо-восточного простирания, согласующуюся с таковыми на Урале, но только на Южном. По отношению к Северному и Среднему Уралу, где поле широтного сжатия — меридионального растяжения реализовалось в форме левосдвиговой транспрессии, здесь это же поле (видимо, уже затухающее на западе) образует структуру, характерную для обстановки правосдвиговой трансформации.

Некоторые выводы и предположения

Применение рассмотренных принципов морфоструктурного анализа для большой платформенной территории оказалось продуктивным и позволило составить согласованную карту плиоцен-четверичных напряжений (см. рис. 40 и Приложение 2) — схематическую, но сопоставимую по своему содержанию с картами, основанными на использовании более точных структурных данных о кинематике смещений.

Более того, применяемый подход позволил объективнее и шире учесть доли сдвигового и сбросового режимов в общем напряженном состоянии, причем первого — не только по сравнению с мезотектоническими данными (вообще мало информативными в данном отношении), но даже и с макротектоническими (видимо, в силу локальности контуров зон складчатых деформаций, тогда как рельеф, напротив, непрерывен, и выраженные в нем сдвиговые домены выглядят гораздо шире), а второго — по сравнению с макроструктурой, где на поверхности доминируют складки и взбросы, а сбросы заметны гораздо хуже.

Несомненно также, что большая подчеркнутость сдвигового и сбросового режимов в мор-

фоструктуре связана со спецификой метода, основанного на анализе черт, выраженных в плановой проекции.

Зато для изучения складчато-надвиговых деформаций в режиме взбросового сжатия морфоструктурный подход по той же причине ограничен в наших условиях — еще и потому, что в пределах собственно Русской плиты, с ее докембрийским фундаментом, новейшие зоны дислокаций выражены в рельефе гораздо слабее по сравнению с неотектонически активизированными герцинидами Урала и Донбасса. Но и тут, как показали примеры последних, а также прилегающих к ним участков платформы, многие элементы взбросо-надвиговой структуры в равнинном рельефе все-таки находят свое выражение: в поперечной асимметрии («вергентности») крупных морфоструктур, в возникновении секущих (антитетических) уступов предположительно компрессионного происхождения, в пределах которых возрастает и концентрация взбросовых трещин, и т.п.

Угадываются даже черты сходства платформенных морфоструктур сжатия со структурным обликом соседних орогенов: южная «вергентность» Сальско-Маньчской гряды и Азово-Донского водораздела (мегаподнятия), согласная с реальной вергентностью Кавказа, а также обращенные к востоку (откуда был направлен подвиг литосферы Западной Сибири) уступы новейшего Урала, Уфимского плато и т.д.

В региональном плане, сравнение результатов тектодинамического анализа рельефа с таковыми других методов картографирования напряжений (см. рис. 1) приводит к следующим выводам и предположениям.

Прежде всего, даже и для плиоцен-четверичного этапа подтверждается участие горизонтальной компоненты напряжений. Кроме того, несомненно также действие двух конкурирующих полей напряжений, соответственно с субмеридиональным и субширотным сжатием — «кавказского» и «уральского», но ареалы их действия и значимость подверглись некоторой «корректировке». Так, если по макро- и мезоструктуре область Вятских дислокаций принадлежит к сфере влияния новейшего Урала, то по морфоструктуре, на нее наложилось субмеридиональное «кавказское» сжатие. Область же «уральского» сжатия съезжилась до территории собственно Урала-Мугоджар, с захватом близкого Приуралья. Возможно, подобная эскалация субмеридионального сжатия в плиоцене-квартере отражает более поздний (конец раннего миоцена)

возраст «жесткой» коллизии Евразийской плиты с Аравией, по сравнению с Индо-Евразийской коллизией (олигоцен). Обновленная (плиоцен-четвертичная) граница ареалов влияния двух источников напряжений выглядит в виде Вятско-Бугульминского линеамента северо-западного простирания с устойчивым проявлением вдоль него правого сдвига (видимо, ограничивающего с восточной стороны блок, подталкиваемый к северу в «кавказском» поле).

При этом, судя по простиранию морфоструктурных линий (см. Приложение 2), области динамического влияния Кавказа и Урала образуют взаимно перпендикулярные ороклины, вдавливающиеся друг в друга, а возникшая на их границе Бугульминско-Белебеевская возвышенность (водораздел первого ранга), очевидно, выражает обстановку недостатка пространства между обоими ороклинами.

Очень хорошо прослеживается в плиоцен-четвертичном рельефе разнообразное косвенное влияние на динамику и кинематику морфоструктуры востока Русской плиты Прикаспийской синеклизы, но только как древней реологической неоднородности, по-своему реагирующей на исходящие от орогенов Кавказа–Копетдага, а также внутриплитного орогена Урала, напряжения.

Вдоль северного края синеклизы развилась колоссальная Уральско-Сакмарская левосдвиговая зона южного склона Общего Сырта (секущая также и Урал, а на западе продолжающаяся на Жигулевский левый взбросо-сдвиг), а на восточном краю синеклизы смещение по сдвигу утоненной прикаспийской литосферы привело к ее поддвигу (внутриплитной субдукции) под Мугоджары и к широкому формированию там молодых (пред- и послеакчгыльских), прямо выраженных в рельефе присдвиговых меридиональных складок [Копп, 2004б, 2005].

Восточное перемещение (с некоторым поворотом по часовой стрелке — судя по дугобразной форме левого сдвига) Прикаспийского блока, в его неотектоническом выражении, было вызвано его выжиманием к востоку от При-

волжского поднятия, продолжающего к северу Транскавказскую линию приложения наибольшего коллизийного давления от Кавказа.

На юге блок ограничивался правыми сдвигами юго-западного Прикаспия, Скифско-Туранской плиты, Донбасса, юга Мугоджар и, возможно, Мангышлака ([Копп, 2004 а,б]; см. также настоящую работу), которые, однако, не образуют столь непрерывной зоны, как Уральско-Сакмарский (Сыртовский) левый сдвиг на севере.

Наряду со всем этим унаследовано прогибавшаяся, и в том числе в кайнозой, Прикаспийская синеклиза играла роль геодинамического убежища для тектонических потоков масс, выжимавшихся из областей проявления режимов сдвига и сжатия к участкам меньшего давления, крупнейшим из которых и являлась синеклиза. Такого рода потоки, растягивавшиеся при движении, характерны для Доно-Донецкого (Кантемировского) водораздела, Сокских Яров и Общего Сырта, в морфоструктурных ансамблях которых присутствуют характерные в данном смысле ступенчатые наклонные блоки, с тыловой стороны ограниченные дугообразными уступами с экспозицией и вогнутостью, обращенными к Прикаспийской синеклизе [Копп, 2004а, 2011а].

Образовавшиеся при сдвиге и растяжении ороклиноподобные тектонические глетчеры такого типа, или псевдоороклины [Копп, 2004а] (назовем их также транстензионными, в отличие от настоящих транспрессионных ороклинов, возникших при участии сдвига и сжатия), «впадают» в синеклизу с запада, северо-запада и севера, тогда как их совсем нет на юге и востоке (Мугоджары) — где, видимо, им мешает развиваться повышенное давление от Кавказа–Копетдага и Урала соответственно. По форме в плане транстензионные ороклины (псевдоороклины) похожи на настоящие транспрессионные, но отличаются обратным к движению масс направлением сопровождающих их дуг и противоположным, по сравнению со вторыми, знаком бортовых сдвигов (см. рис. 104 в работе [Копп, 2004а]).

Заключение и некоторые прикладные аспекты

Основной результат исследований — картографическая реконструкция кайнозойского поля напряжений и деформаций платформенной территории востока Русской плиты и Южного и Среднего Урала, выполненная на основе компьютеризованного структурно-кинематического метода (см. Приложение 1). В качестве исходного материала использовался длительно собиравшийся массив замеров мезоструктурных кинематических индикаторов. Компьютерные модели сопоставлялись с результатами анализа первичных данных на стереограммах, а также с обобщенной нами макро- и морфоструктурной тектодинамической информацией, опробовались разные способы статистической обработки и генерализации данных.

Все это позволило уточнить «разрешающую способность» каждого из применяемых методов. Представляемая карта поля кайнозойских напряжений (в оригинале она сопровождается серией карт отдельных параметров напряженного состояния) составлена впервые для такой крупной платформенной территории. Комплект этих материалов сам по себе — новый информационный документ, который может анализироваться специалистами разного профиля и теоретических взглядов.

Выделим, однако, наиболее важные, по нашему мнению, **выводы регионального, теоретического и методического плана.**

1. Пространственные вариации реконструированного поля напряжений отражают давление на литосферу Восточно-Европейской платформы соседних с ней орогенов, активных в кайнозое (особенно позднем) и формировавшихся в обстановке коллизии плит: на юге — Кавказа и Копетдага, принадлежащих Периаравийской коллизионной области, а на востоке — Северного и Южного Урала (судя по всему, находящегося на

этом отрезке в зоне воздействия Перииндийской коллизионной области).

2. Области влияния обоих источников давления оконтурены по присущей им ориентации осей напряжений и направленным к ним же изменениям типа поля напряжений в сторону повышения сжатия. Участок между этими областями демонстрирует примеры интерференции и рассеяния разных направлений сжатия, а также его ослабление и замещение растяжением. Наиболее полно эти особенности структуры кайнозойского поля напряжений/деформаций оформились в позднеальпийскую, или новейшую, эпоху (олигоцен–квартер). При этом, по геологическим данным, первые признаки «уральского» субширотного сжатия появились уже в начале олигоцена, а «кавказского» (субмеридионального сжатия) — с конца раннего миоцена. По данным же анализа морфоструктурного рисунка гидросети, в плиоцене–квартере область меридионального сжатия несколько расширилась к северу с наложением «кавказских» структур на «уральские».

3. Эти выводы, в свою очередь, подтверждают (оспариваемую) вероятность весьма далекого проникновения в центр литосферной плиты затухающего коллизионного давления.

4. При прохождении через неоднородности консолидированной коры платформы коллизионные напряжения искажались: в вертикальном разрезе сжатие (особенно в сдвиговом стресс-режиме) снижалось вверх и даже замещалось растяжением над растущими козырьками надвигов и вершинами валов, а в плановой проекции сжатие в сдвиговом режиме возрастало на древних поднятиях фундамента, около же синеклиз усиливались растяжение и направленное к ним латеральное выжимание масс по сдвигам.

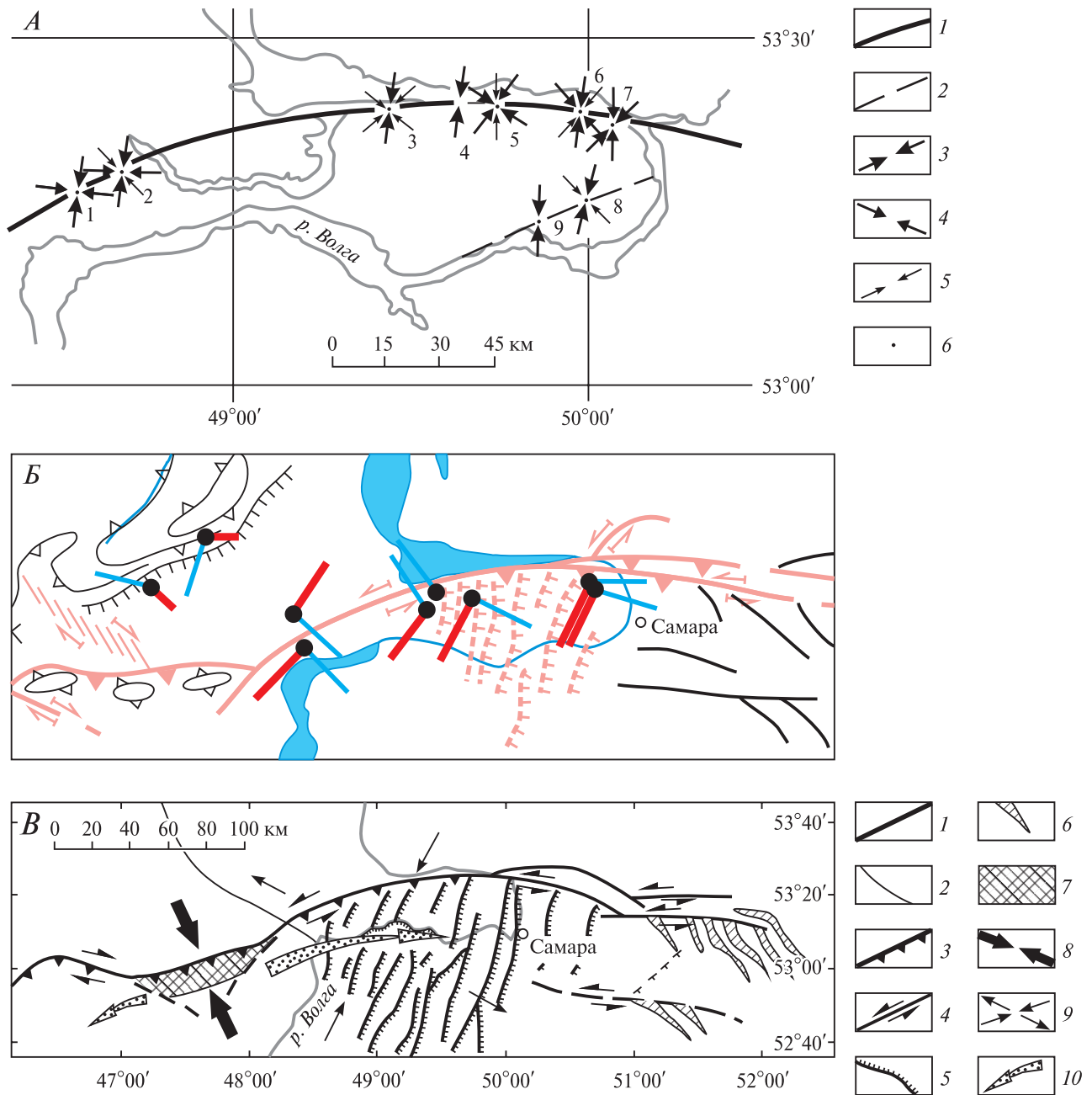


Рис. 43. Левосдвиговая кинематика Жигулевского разрыва, выраженная в разных — мезо- (А, Б) и макро-структурных (В) — признаках

А, Б — сдвиг по диагональной ориентировке к линии разрыва главных осей эллипсоида напряжений, по мезоструктурным данным: по результатам обработки стереограмм [Копп, Тверитинова, 1999] (А) и по результатам компьютерной реконструкции в [Копп, 2014] и в настоящей работе (см. условные обозначения к Приложению 1 и рис. 25) (Б).

1 — Жигулевский разрыв; 2 — предполагаемые разрывы; 3–5 — горизонтальные проекции оси укорочения: 3 — 1-го порядка, 4 — 2-го порядка, 5 — 3-го порядка; 6 — точки наблюдения. Расшифровку условных обозначений к рис. 43, Б см. на рис. 1 и в Приложении 1).

В — сдвиг по данным анализа макроструктурного рисунка [Копп, 2004а].

1 — Жигулевский разрыв; 2 — остальные нарушения; 3 — взбросы и надвиги; 4 — сдвиги; 5 — сбросы; 6 — складки и флексуры, компенсирующие горизонтальные перемещения по сдвигам; 7 — область наибольшего подъема платформенного фундамента; 8 — место и направление пережима (деформационной шейки) Жигулевской виргации; 9 — направления векторов укорочения и удлинения в наиболее выдвинувшейся к северу части Жигулевского вала; 10 — направление латерального выжимания масс из деформационной шейки

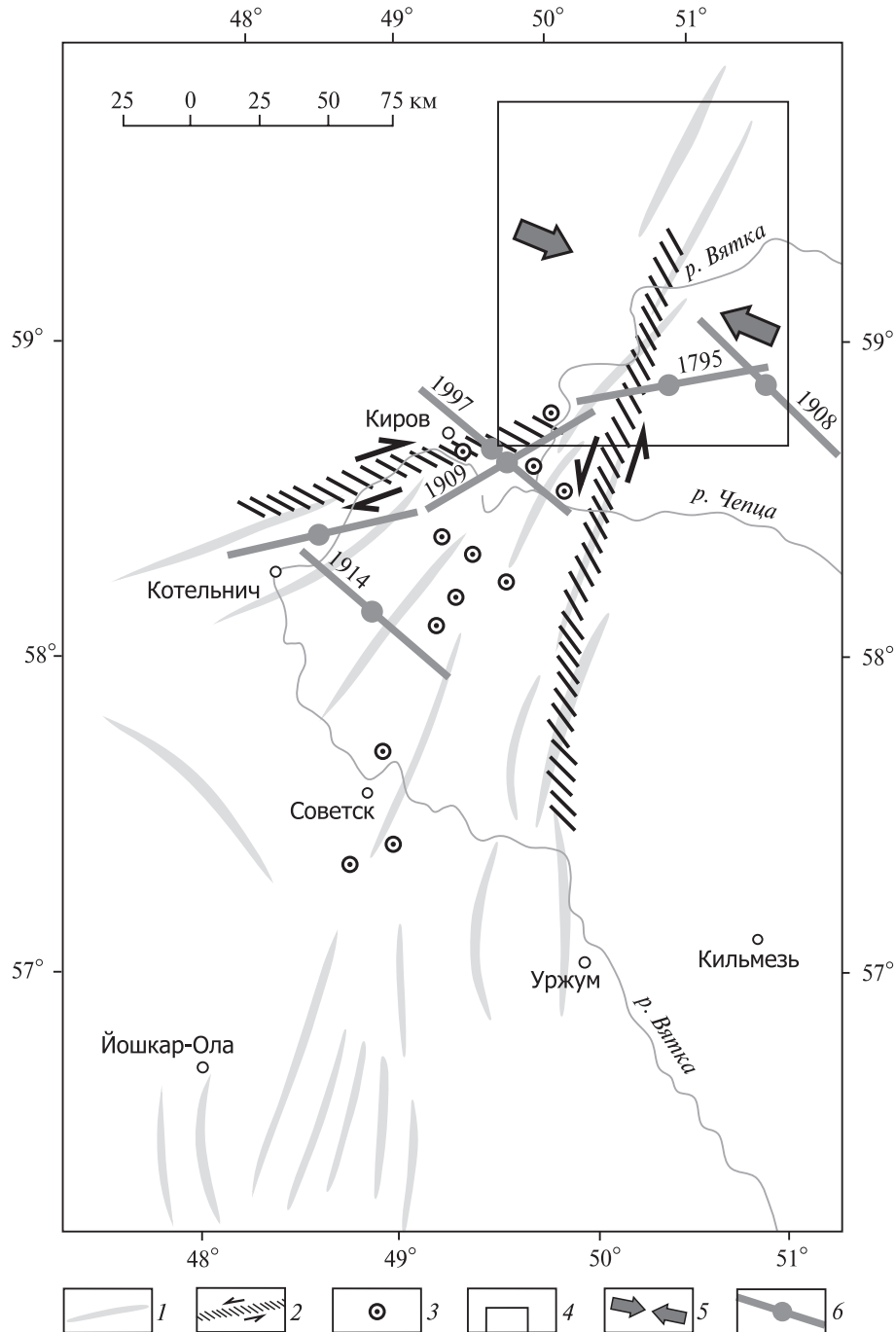


Рис. 44. Сопоставление сейсмических событий со структурно-кинематической схемой Вятской виргации [Копп и др., 2012]

1 — оси валов; 2 — сдвиговые зоны, по данным анализа структурного рисунка; 3 — точки мезотектонических наблюдений; 4 — контур участка, где в структурном рисунке особенно четко проявлены диагональные левые сдвиги (см. рис. 13); 5 — установленное по ним направление сжатия; 6 — сейсмические линеаменты: простираения и эпицентры очаговых зон исторических землетрясений с обозначением года события

5. Результаты, полученные при параллельном использовании данных разного масштаба и типа — макро-, мезо- и морфоструктурных наблюдений, а также обработанные разными способами

ми статистического анализа (при лидирующем использовании компьютера), принципиально не противоречат, но зато дополняют друг друга. Применяемые в комплексе, они могут эффек-

тивно использоваться для изучения кайнозойского и, в том числе, новейшего напряженного состояния платформенных территорий.

Помимо этих главных выводов регионального, теоретического и методического плана, имеются и некоторые результаты *прикладного характера*.

Прежде всего, это уточнение кинематики известных разрывов. Оказалось, например, что почти все взбросо-надвиги имеют значительную сдвиговую компоненту, которая при анализе напряженного состояния сразу улавливается по диагональной к линии разрыва ориентации осей нормальных напряжений. Так, для Жигулевского взброса установлена существенная левосдвиговая компонента (рис. 43), а для разрывов Донбасса (Северодонецкого и Персиановского) — правосдвиговая (см. рис. 26). Новокиевский разрыв Южного Урала оказался левым взбросо-сдвигом. Неоднократно смещен сдвигами разного знака Мугоджарский взброс (см. рис. 11).

Во всех этих случаях сдвиг подтверждается не только мезотектоническими данными, но и чертами структурного рисунка зон разрывов (см., например, рис. 5, 12, 29, 43, *В*). Вряд ли стоит говорить о том, насколько существенно обнаружение сдвигов для поиска месторождений полезных ископаемых, в частности, нефти: сдвиги могут смещать их контуры.

Другой пример — из области сейсмологии. Сопоставление эпицентров и эпицентральных зон Вятских землетрясений, по А.А. Никонову, с данными об ориентации кайнозойских напряжений и линейных геологических структур [Копп и др., 2012] (рис. 44; см. также более наглядные в отношении структур рис. 16 и 17) показало их определенную корреляцию. Так, параллельные Вятскому мегавалу эпицентральные зоны север-северо-восточного простирания ложатся на наиболее узкий (соответственно, особенно сжатый?) северный отрезок Вятской виргации, где лучше всего представлены линейные валы и складки соответствующей ориентировки, а также парагенетичные им диагональные (СЗ–ЮВ) и продольные левые сдвиги и взбросо-сдвиги.

Данный комплекс структур в совокупности показывает обстановку сжатия ЗСЗ–ВЮВ, а левые сдвиги и взбросо-сдвиги играют здесь роль сдвигов сжатия, или «нагружения», по нашей терминологии [Копп, 2012, 2013].

Все это позволяет предположить, что и рассматриваемая группа землетрясений возникла в обстановке того же, запад–северо-западного, сжатия и/или левосдвиговой транспрессии, что и сами структуры Вятских дислокаций на этом их отрезке. В свою очередь, это, возможно, свидетельствует о некоторой унаследованности современной динамики Вятских дислокаций от кайнозойской в целом. На расширении же виргации, где сжатие, по определению, должно ослабевать, линейные эпицентральные зоны тяготеют уже не к продольным валам, а к правым сдвигам диагонального, восток–северо-восточного, простирания (в данной ситуации, вероятно, обеспечивавшим рассеяние общего сжатия зоны, произошедшего с участием левым сдвигом) — компенсационным «сдвигам разгрузки». Кроме того, некоторые вытянутые эпицентральные зоны здесь совпадают с поперечными по отношению к Вятским дислокациям линейными запад–северо-западного простирания (таковы долины рек Чепцы и Быстрицы), которые в поле деформаций с запад–северо-западным укорочением должны были возникнуть при растяжении. Ранее повышенная приуроченность эпицентров к линиям сдвигов была показана нами и А.А. Никоновым для Воронежского массива [Копп и др., 2002].

Перечисленные практические аспекты случайны, но они иллюстрируют важность тектодинамического анализа при решении региональных и практических вопросов. Это тем более актуально, что сейчас большие усилия тратятся на производство в пределах рассматриваемой территории геологического «доизучения» листов геологической карты масштаба 1:200 000 (ГДП-200), куда в пакет материалов входят карты новейшей тектоники и геоэкологии. Мы полагаем, что исследования параметров новейшего напряженного состояния были бы полезны в данном аспекте.

Summary

This monograph presents the first cartographic reconstruction of the recent stress field for the southeastern Russian Plate and the southern-middle Urals based on computer analysis of the extensive body of measurements of mesostructural kinematic markers. Comparison of this reconstruction with macro- and mesostructural data on the dynamics of recent dislocations at the platform leads to the following conclusions:

(1) spatial variations of the stress field reflect the pressure on the platform's lithosphere from the Caucasus–Kopet Dagh collisional orogen and the intraplate linear rise of the recent Urals, presumably related to the Central Asian collision zone;

(2) when passing through the heterogeneous crust of the platform, the collision stresses were distorted: in the vertical section, compression decreased upward (especially in strike-slipstress regime) and even gave way to extension above uplifting hanging wall of upthrust faults and crests of swells; in plan

view, compression (including in the strike-slipstress regime) increased at basement uplifts; on the contrary, extension increased near synclises, as well as lateral escape directed here along strike-slip faults;

(3) reconstructions based on data variable in scale and type (results of macro-, meso- and morphostructural observations processed by differing statistical means with leading use of computer programs) do not contradict but supplement one another; taken together, they represent the complete pattern of the recent stress state;

(4) our results can be used for applied purposes to introduce clarity into the kinematics of the known faults, especially for revealing strike-slip offsets and how the intraplate earthquakes relate to faults of a certain kinematics.

In general, they indicate that tectonodynamic analysis is promising for solving regional tectonic and applied problems of the platform tectonics.

Литература

- Валеев Р.Н.* Тектоника и минерагения рифея и фанерозоя Восточно-Европейской платформы. М.: Недра, 1981. 215 с.
- Васильев Н.Ю., Мострюков А.О.* Тектонофизическая реконструкция условий размещения благородных металлов в дунитах расслоенного массива // М.В. Гзовский и развитие тектонофизики. М.: Наука, 2000. С. 281–295.
- Васильев Н.Ю., Мострюков А.О.* Закономерности развития циклов деформации в процессах тектогенеза // Тектоника неогена: Общие и региональные аспекты. М.: ГЕОС, 2001. Т. 1. С. 90–93.
- Вержбицкий В.Е., Копп М.Л.* Новейшее поле деформаций Южного Зауралья // Докл. РАН. 2005. Т. 405, № 2. С. 224–228.
- Вировлянский Г.М.* Закономерности формирования структуры рудных полей некоторых типов гидротермальных месторождений // Проблемы генезиса руд. М.: Недра, 1964. С. 45–57.
- Высоцкий К.А., Калинин А.Т.* Структурно-тектонические предпосылки выявления нефтегазоносных районов // Разведка и охрана недр. № 10. 2000. С. 23–27.
- Геологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:500 000. Листы 22 и 22А / Составители Тургайско-Мугоджарской серии Р.А. Сегедин и Г.А. Костик. Л.: Объединение «Аэрогеология», 1979.
- Гзовский М.В.* Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория. Ч. 3 и 4. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 544 с.
- Горьков Ю.Д.* Происхождение и строение линейных дислокаций Саратовского правобережья в связи с поисками залежей нефти и газа // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Вып. 20. Саратов: Изд-во СГУ, 1979. С. 25–42.
- Государственная Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Лист М-40-V. Объяснительная записка / Сост. В.С. Шарфман. Л.: Недра, 1959. 112 с.
- Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:1 000 000. Лист L-(38), 39. Объяснительная записка / Ред. Н.И. Нестерова, Н.П. Сайфутдинов. Л.: Недра, 1988. 127 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (Н.С.). Лист О-(38), 39. Киров. Объяснительная записка / Гл. ред. В.П. Кириков. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 331 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (Н.С.). Лист N-38 (39). Самара. Объяснительная записка. СПб: ВСЕГЕИ, 2000. 402 с.
- Гуценко О.И.* Анализ ориентировок сколовых тектонических смещений и их тектонофизическая интерпретация при реконструкции палеонапряжений // Докл. АН СССР. 1973. Т. 210, № 2. С. 331–334.
- Гуценко О.И.* Определение тектонических полей напряжений методом кинематического анализа структур разрушения (в связи с прогнозом сейсмической опасности) // Природа и методологическое определение тектонического напряжения в верхней части земной коры: Материалы Всесоюз. школы-семинара. Апатиты, 20–22 мая 1980 г. Апатиты, 1982. С. 35–52.
- Гуценко О.И.* Сеймотектонический стресс-мониторинг литосферы: структурно-кинематический принцип и основные элементы алгоритма // Докл. РАН. 1996. Т. 346, № 3. С. 399–402.
- Гуценко О.И.* Кинематический принцип относительной хронологии палеонапряжений (основной алгоритм тектонического стресс-мониторинга литосферы) // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М.: Наука, 1999. С. 108–125. (Тр. ГИН РАН; Вып. 515.)
- Гуценко О.И., Мострюков А.О., Гуценко Н.Ю., Сергеев А.А.* Палеонапряжения центральных районов Русской плиты (по геологическим и геоморфологическим данным) // Докл. РАН. 1999. Т. 368, № 2. С. 230–235.
- Казанцева Ю.В., Казанцева Т.Т.* Структурная геология юго-востока Восточно-Европейской платформы. Уфа: Гилем, 2001. 234 с.

- Казьмин В.Г., Книппер А.Л.* Аккреционная тектоника Кавказа // Тектонические процессы / Ред. Ю.М. Пушаровский, А.А. Моссаковский. М.: Наука, 1989. С. 75–89.
- Казьмин Л.Л., Горелов А.А., Чирук Г.Н.* Количественная оценка соответствия структурных планов локальных поднятий Куйбышевской области // Нефтегазовая геология и геофизика. 1983. № 1. С. 4–6.
- Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т.* Происхождение нефтегазоносных платформенных структур. Уфа: Ин-т геологии Башкирского филиала АН СССР, 1979. 64 с.
- Кисин А.Ю.* Структурное положение тектонического блока Каратау // Литосфера. 2008. № 4. С. 35–47.
- Клавдиева Н.* Тектоническое погружение предкавказских краевых прогибов в кайнозое: Автореф. ... дис. канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 2007. 24 с.
- Кноринг Л.Д.* Математические методы при изучении механизма образования тектонической трещиноватости. Л.: Недра, 1969. 87 с.
- Колесниченко А.А.* Кинематика и новейшее развитие Суксунско-Красноуфимского разрыва (Центральное Приуралье) по мезоструктурным данным // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2010. Т. 85, вып. 6. С. 14–19.
- Колесниченко А.А.* Динамика формирования позднекайнозойской структуры области сочленения Русской плиты и Урала (Центральное Приуралье): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: ГИН РАН, 2013. 30 с.
- Колодяжный С.Ю.* Структурно-кинематические парагенезы в осадках фанерозойского чехла Среднерусской зоны дислокаций // Геотектоника. 2010. № 2. С. 56–76.
- Копп М.Л.* Кинематика Кавказа на орогенном этапе // Геодинамика Кавказа. М.: Наука, 1989. С. 113–122.
- Копп М.Л.* Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе. М.: Научный Мир, 1997. 314 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 506.)
- Копп М.Л.* Трансевразийский правый сдвиг вдоль линии Торнквиста и предполагаемая кинематика Восточно-Европейской субплиты в кайнозое // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М.: Наука, 1999. С. 84–107. (Тр. ГИН РАН; Вып. 515.)
- Копп М.Л.* Новейшие деформации Скифской и юга Восточно-Европейской плит как результат давления Аравийской плиты // Геотектоника. 2000. № 2. С. 26–42.
- Копп М.Л.* Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2004а. 340 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 552.)
- Копп М.Л.* Новейшие деформации Мугоджар и динамические обстановки их формирования // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2004б. Т. 79, вып. 2. С. 8–23.
- Копп М.Л.* Новейшая деформация Южного Урала и Мугоджар и ее вероятное происхождение // Геотектоника. 2005. № 5. С. 36–61.
- Копп М.Л.* Коллизионная структура Кавказского региона // Большой Кавказ в альпийскую эпоху / Под ред. Ю.Г. Леонова. М.: ГЕОС, 2007а. С. 285–314.
- Копп М.Л.* Лозьвинские дислокации Северного Зауралья как результат неотектонического поддвига коры Западно-Сибирской платформы под Урал // Докл. РАН. Т. 417, № 6. 2007б. С. 1020–1023.
- Копп М.Л.* Денудационные уступы как индикатор региональных неотектонических напряжений // Геотектоника. 2011а. № 5. С. 71–90.
- Копп М.Л.* Наложение разноориентированных кайнозойских напряжений в центре Русской плиты // Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриплитных орогенов: Материалы 5-го Междунар. симпоз. г. Бишкек, 19–24 июня. Бишкек: Научная станция РАН, 2011б. Т. 2. С. 37–41.
- Копп М.Л.* Проблема монолитности Евразийской плиты в кайнозое (в свете данных об эволюции и динамике формирования компрессионных внутриплитных дислокаций Северо-Западной Евразии) // Современное состояние наук о Земле: Материалы Междунар. конф., посвященной памяти В.Е. Хаина, г. Москва, 1–4 февраля 2011 г. М.: Геол. фак. МГУ им. М.В. Ломоносова. 2011в. С. 918–923. (Электронная версия.)
- Копп М.Л.* Вятские дислокации: динамика формирования и выражение в новейшей структуре // Геотектоника. 2012. № 6. С. 55–77.
- Копп М.Л.* Роль хрупкого разрушения, пластической деформации и латерального течения в формировании альпийской структуры Северной Евразии // Латеральные тектонические потоки в литосфере Земли / Отв. ред. М.Г. Леонов. М.: ГЕОС, 2013. С. 12–57. (Тр. ГИН РАН; Вып. 604.)
- Копп М.Л.* Каков истинный ареал герцинской складчатости на востоке Русской плиты? // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходства, различия, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения: В 2 т. М.: ГЕОС, 2014. С. 201–205. (Материалы XLVI тектонич. совещ.; Т. 1.)
- Копп М.Л., Васильев Н.Ю., Колесниченко А.А., Мострюков А.О.* Кайнозойское поле напряжений востока Русской равнины и Южного Урала (по данным компьютерного моделирования результатов структурных наблюдений) // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходства, различия, характерные черты новейшего горообразования,

- региональные обобщения: В 2 т. М.: ГЕОС, 2014. С. 206–214. (Материалы XLVI тектонич. совещ.; Т. 1.)
- Копп М.Л., Вержбицкий В.А., Колесниченко А.А.* Новейшая динамика и вероятное происхождение Тулвинской возвышенности Пермского Приуралья // Геотектоника. 2008. № 6. С. 45–69.
- Копп М.Л., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А., Тверитинова Т.Ю., Васильев Н.Ю., Корчемагин В.А., Мострюков А.О., Иоффе А.И.* Новейшее поле напряжений востока Русской плиты и Урала по макро- и мезоструктурным данным // Геотектоника. 2014. № 4. С. 23–43.
- Копп М.Л., Егоров Е.Ю., Зарщиков А.А.* О происхождении Приволжско-Ергенинского уступа // Изв. вузов. Геология и разведка. 1999. № 4. С. 21–37.
- Копп М.Л., Иоффе А.И., Егоров Е.Ю., Вержбицкий В.Е., Кудашев А.Н.* Геодинамика Окско-Донского новейшего прогиба // Общие и региональные вопросы геологии: Динамика формирования, структура, вещественный состав и полезные ископаемые складчатых систем и осадочных бассейнов различной геодинамической позиции / Ред. Г.Н. Савельева, В.А. Друщиц. М.: ГЕОС, 2000. С. 123–179.
- Копп М.Л., Корчемагин В.А., Колесниченко А.А.* Альпийские деформации Донбасса: периодичность, характер напряжений и их вероятные источники // Геотектоника. 2010. № 5. С. 41–60.
- Копп М.Л., Никонов А.А., Егоров Е.Ю.* Кинематика новейшей структуры и сейсмичность Окско-Донского миоцен-четвертичного прогиба // Докл. РАН. 2002. Т. 385, № 3. С. 387–392.
- Копп М.Л., Никонов А.А., Колесниченко А.А.* Структура, геодинамика и сейсмичность района Вятских дислокаций (Казанско-Кажимский авлакоген северо-востока ВЕП) // Геологическая среда, минерогенические и сеймотектонические процессы: Материалы XVIII Междунар. конф., 24–29 сентября 2012 г. Воронеж: Научная книга, 2012. С. 153–157.
- Копп М.Л., Тверитинова Т.Ю.* Кинематика Жигулевского новейшего разлома // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1999. Т. 74, вып. 5. С. 18–29.
- Копп М.Л., Тверитинова Т.Ю.* О происхождении Доно-Медведицких дислокаций // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2001. Т. 76, вып. 3. С. 19–30.
- Копп М.Л., Щерба И.Г.* Кавказский бассейн в палеогене // Геотектоника. 1998. № 2. С. 29–50.
- Короновский Н.В., Демина Л.И.* Коллизионный этап развития Кавказского сектора Альпийского складчатого пояса: геодинамика и магматизм // Геотектоника. 1999. № 2. С. 17–36.
- Корчемагин В.А., Емец В.С.* Особенности развития тектонической структуры и поля напряжений Донбасса и Восточного Приазовья // Геотектоника. 1987. № 3. С. 49–55.
- Лёвин Ф.Д., Фомин В.И.* Происхождение современных Уральских гор (на примере Среднего и Южного Урала) // Отечественная геология. 2001. № 3. С. 31–40.
- Леонов Ю.Г.* Напряжения в литосфере и внутриплитная тектоника // Отечественная геология. 1995. № 6. С. 3–21.
- Леонов Ю.Г., Гущенко О.И., Копп М.Л., Расцветаев Л.М.* Взаимосвязь позднекайнозойских напряжений и деформаций в Кавказском секторе альпийского пояса и в его северном платформенном обрамлении // Отечественная геология. 2001. № 1. С. 36–59.
- Лидер В.А.* О соотношении мезозойских и современных структур на восточном склоне Северного Урала // Геоморфология и новейшая тектоника Волго-Уральской области. Уфа: Изд-во БФ АН СССР, 1960. С. 301–306. (Труды Уфим. совещ. по геоморфологии и неотектонике Волго-Уральской области и Южного Урала.)
- Лидер В.А.* Геология Северо-Сосьвинского буроугольного бассейна // Материалы по геологии и полезным ископаемым Урала. Вып. 11. М.: Недра, 1964. 146 с.
- Макаров В.И.* Региональные особенности новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их сейсмической активности // Недра Поволжья и Прикаспия. 1996. № 13. Спец. вып. С. 53–60.
- Машкович Х.А., Шорников Б.Я., Шебалдина М.Г.* О строении Елшанско-Сергиевского вала // Геология нефти и газа. 1970. № 5. С. 42–46.
- Милановский Е.Е.* Рифтогенез в истории Земли (рифтогенез на древних платформах). М.: Недра, 1983. 280 с.
- Новейшая тектоника и геодинамика: область сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты / В.И. Макаров, Н.В. Макарова, С.А. Несмеянов, В.М. Макеев, А.Л. Дорожко, А.В. Зайцев, Г.В. Зеленщиков, Л.И. Серебрякова, Т.В. Суханова / Отв. редактор Ю.К. Щукин. М.: Наука, 2006. 206 с.
- Обедиентова Г.В.* Происхождение Жигулевской возвышенности и развитие ее рельефа: Материалы по геоморфологии и палеогеографии СССР. Вып. 8. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 247 с. (Труды Ин-та географии АН СССР; Т. 53.)
- Парфенов В.Д.* К методике тектонофизического анализа геологических структур // Геотектоника. 1984. № 1. С. 60–72.
- Попков В.И.* Складчато-надвиговые дислокации (Прикаспий, Предкавказье, Азово-Черноморский регион). М.: Научный Мир, 2001. 306 с.
- Попов В.С.* Тектоника // Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Ч. 1: Донецкий бассейн. М.: Госгеолтехиздат, 1963. С. 103–151.
- Путеводитель экскурсии по Донецкому бассейну / Под ред. Д.Е. Айзенберга, В.В. Лагутина,

- М.Л. Левенштейна, В.С. Попова. М.: Наука, 1975. 360 с.
- Разницын В.А.* Тектоническое районирование и генезис структур северной зоны мелкой складчатости Донбасса // Геотектоника. 1976. № 1. С. 57–73.
- Расцветаев Л.М.* Сдвиги и альпийская геодинамика Кавказского региона // Геодинамика Кавказа. М.: Наука, 1989. С. 109–112.
- Ренгартен В.П.* О молодых тектонических движениях на восточном склоне Урала // Материалы по геоморфологии Урала. М.;Л.: Госгеолиздат, 1948. Вып. 1. С. 268–279.
- Руднев М.В.* Особенности строения Карлинской структуры // Разведка и охрана недр. 2005. № 8. С. 6–10.
- Сетунская Л.Е., Чупленкова И.Н.* Неотектонические движения Вятско-Камской области и их значение для анализа геологических структур // Проблемы тектонических движений и новейших структур земной коры. М.: Наука, 1968. С. 174–179.
- Сим Л.А.* Неотектонические поля напряжений Восточно-Европейской плиты и соседних структур: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 1996. 41 с.
- Стовба С.Н., Стифенсон Р.А.* Сравнительный анализ строения и истории формирования юго-восточной части Днепровско-Донецкой впадины и Донецкого складчатого сооружения // Геофиз. журн. 2000. Т. 22, № 4. С. 37–61.
- Тарков А.П., Пацев В.П., Силкин К.Ю.* О структурной дисгармонии отложений осадочного чехла Воронежской антеклизы по результатам профильных наблюдений микро-ОГТ // Геофизика. 2002. № 1. С. 68–70.
- Тевелёв Арк.В.* Альпийская тектоника Южного Урала // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы: В 2 т. М.: ГЕОС, 2003. С. 230–234. (Материалы XXXVI тектонич. совещ.; Т. 2.)
- Тектоника мезо-кайнозойских отложений Черноморской впадины / Под ред. Д.А. Туголесова. М.: Недра, 1985. 215 с.
- Юдахин Ф.Н., Шукин Ю.К., Макаров В.И.* Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 300 с.
- Finetti I., Bricchi G., Del Ben A., Pipan M., Xuan Z.* Geophysical study of the Black Sea area // Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata. 1988. Vol. 30, № 117/118. P. 197–324.
- Jaroszewski W.* Drobnostukturalne kryteria tektoniki obszaryw nierogenicznych na przykladzie pylno-cnowschodniego obrzezenia mezozoicznego Gyr Swietokrzyskich // Studia geol. polonica. 1972. Vol. 38. P. 215.
- Nikishin A.M., Brunet M.-F., Cloetingh S., Ershov A.V.* Northern Peri-Tethyan Cenozoic intraplate deformation: influence of the Tethyan collisional belt on the Eurasian continent from Paris to Tien-Shan // Compt. Ren. Acad. Sci. 1999. T. 329, ser. 2a. P. 49–57.
- Nikishin A.M., Ziegler P.A., Stephenson R.A., Ustinova M.A.* Santonian to Paleocene Tectonics of the East European craton and adjacent areas // Bull. de L'Institut Royal des Sciences Naturelles: Sci. de la Terra, 1999. Vol. 69, Supp. A. P. 147–159.
- Rosendahl B.R.* Architecture of continental rifts with special reference to east Africa // Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 1987. Vol. 15. P. 445–503.
- Sim L.A., Korčemagin V.A., Frischbutter A., Bankwitz P.* The neotectonic stress field pattern of the East European platform // Ztsh. geol. Wiss. Berlin. 1999. Bd. 27, № 3/4. S. 161–181.
- Sobornov K.* Structural evolution of the Karpinskiy swell, Russia // Compt. Ren. Acad. Sci. 1995. T. 321, ser. 2. P. 161–169.
- Tapponnier P., Molnar P.* Slip-line field theory and large-scale continental tectonics // Nature. 1976. Vol. 264, № 5584. P. 319–324.
- Ziegler P.A.* Late Cretaceous and Cenozoic intra-plate compressional deformations in the Alpine forland — a geodynamic model // Nature. 1987. Vol. 137, № 1/4. P. 389–420.

Научное издание

**Копп Михаил Львович, Вержбицкий Владимир Евгеньевич,
Колесниченко Алексей Александрович, Тверитинова Татьяна Юрьевна,
Васильев Никита Юрьевич, Корчемагин Виктор Александрович,
Макарова Наталия Валентиновна, Мострюков Александр Олегович,
Иоффе Александр Иосифович**

Кайнозойские напряжения востока Русской плиты, Южного и Среднего Урала

Методические, теоретические и прикладные аспекты

Редактор *И.М. Ерофеева*
Дизайн и компьютерная верстка *Е.Ю. Ерофеева*

Подписано к печати 17.11.2014
Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная 1,80 г/м²
Гарнитура Таймс Кириллик. Печать офсетная.
Уч.-изд. 14 л. Усл.-печ. 12,2 л. (в т.ч. 1,2 л. цв. вкладки)
Тираж 000 экз.
Тип. зак. № _____, Москва

Издательство ГЕОС
125315, Москва, 1-й Амбулаторный пр., 7/3-114.
Тел./факс: (495) 959-35-16, (499) 152-19-14, 8-926-222-30-91
e-mail: geos@yandex.ru
www.geos-books.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «Чебоксарская типография № 1»
428019, г. Чебоксары, пр. И.Яковлева, 15