

УДК 551.248.2

НОВЕЙШЕЕ ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ ВОСТОКА РУССКОЙ ПЛИТЫ И УРАЛА ПО МАКРО- И МЕЗОСТРУКТУРНЫМ ДАННЫМ

© 2014 г. М. Л. Копп¹, В. Е. Вержбицкий², А. А. Колесниченко¹, Т. Ю. Тверитинова⁵, Н. Ю. Васильев³, В. А. Корчемагин⁴, А. О. Мострюков⁵, А. И. Иоффе¹

¹Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7
e-mail: mlkopp@mail.ru

²Институт океанологии РАН им. П.П. Ширинова, 117851, Москва, Нахимовский просп., д. 36

³Российский государственный геолого-разведочный университет, 117873, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23

⁴Донецкий национальный технический университет, Украина, 83001, Донецк, ул. Артема, д. 58

⁵Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта, 123995, Москва, Б. Грузинская ул., д. 10

Поступила в редакцию 02.09.2013 г.

В статье впервые представлена картографическая реконструкция новейшего поля напряжений юго-востока Русской плиты и Южного Урала, выполненная на основе компьютеризированного структурно-кинематического анализа обширного массива замеров мезоструктурных кинематических маркеров. Ее сопоставление с макро- и мезоструктурными данными о динамике новейших дислокаций на платформе приводит к следующим выводам: (1) пространственные вариации этого поля отражают давление на платформенную литосферу стрессов, исходящих от коллизионного орогена Кавказа–Копетдага и внутриплитного линейного поднятия новейшего Урала, предположительно связанного с Центральноазиатской зоной коллизии; (2) при прохождении через неоднородную кору 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 том числе, в сдвиговом режиме) возрастало на поднятиях фундамента; около же синеклиз, напротив, усиливались растяжение и направленное к ним латеральное выжимание масс по сдвигам; (3) результаты реконструкции, сделанной на основе анализа данных разного масштаба и типа: материалов макро- и мезоструктурных наблюдений, а также обрабатывавшихся разными способами статистического анализа (при лидирующем использовании компьютерных программ) принципиально не противоречат, но дополняют друг друга. В комплексе они предоставляют наиболее полную картину новейшего напряженного состояния; (4) результаты работы могут быть использованы в прикладных целях – для уточнения кинематики известных разрывов, особенно выявления сдвиговых смещений, и анализе приуроченности внутриплатформенных землетрясений к разрывам и флексурам той или иной кинематики, в целом же они свидетельствуют о перспективности тектодинамического анализа при решении регионально-тектонических задач.

Ключевые слова: внутриплитные дислокации, мезоструктура, неотектоника, поле напряжений, Русская плита, Урал

DOI: 10.7868/S0016853X14040067

ВВЕДЕНИЕ

Предмет статьи – динамика формирования широко развитых на платформенных территориях востока Русской плиты и Урала новейших дислокаций. Представленные пучками валов (иногда со взбросами в ядре), эти структуры невелики по амплитуде: наклон слоев редко превышает 10°–20°. Однако именно эти дислокации определили рельеф Русской равнины и Урала, строение многих нефтяных и соляных месторождений. Они же контролируют редкие проявления сейсмичности. Между тем, природа этих структур до сих пор вы-

зывает активные дискуссии. Не выработаны признанные представления об их возрасте (внутрикайнозой), а также о степени унаследованности от древних структур. Остается неясным их вклад в суммарную структуру чехла и иногда преувеличивается: на некоторых изданных картах массовость изображения слабо подтвержденных альпийских разрывов сжатия (надвигов и сдвигов) иногда выглядит необоснованной, и непонятно, почему при таком сильном сжатии слои лежат почти горизонтально. При этом повышенное внимание уделяется надвигам, хотя встречаются также

сдвиги и сбросы. Структуры растяжения часто вообще игнорируются, но, как будет показано, участки растяжения распространены не менее широко.

Особенные споры идут по поводу происхождения рассматриваемых дислокаций. В целом они связываются с горизонтальным сжатием [14, 15, 17, 22, 23, 38–41, 43, 45, 46, 52–54], но при этом высказываются разные, а иногда и полярные мнения по поводу происхождения напряжений: связаны ли они с взаимодействием литосферных плит или же с местными внутриплитными источниками. Предпочтительно рассматриваются так называемые удаленные стрессы (*far fields, far stresses*), исходящие от активных границ плит, но при этом высказываются диаметрально противоположные мнения по поводу источников напряжений: их связывают то с коллизией на южной границе Евразийской плиты [21, 22, 39–41, 52, 53], то с давлением от зоны спрединга на севере [14, 20, 50]. В то же время некоторые полагают, что передача напряжений на столь большие (более 1000 км) расстояния от границ плит вообще невозможна физически [37, Ю.Л. Ребецкий (устное сообщение)].

Вышесказанное иллюстрирует важность знания динамики формирования рассматриваемых дислокаций. Однако именно она наименее изучена – если не считать единичных, но ярких работ на Тимане, Донбассе и в отдельных местах Московской синеклизы [14, 38, 50, 54]. Между тем, эти работы показали возможность применения в условиях платформенного чехла методик, основанных на фиксации ориентировки кинематических маркеров мезотектонического масштаба: зеркал и борозд скольжения, жил, стилолитов и т.п. Представительные кинематические маркеры встречаются повсеместно, в том числе, и в сла-

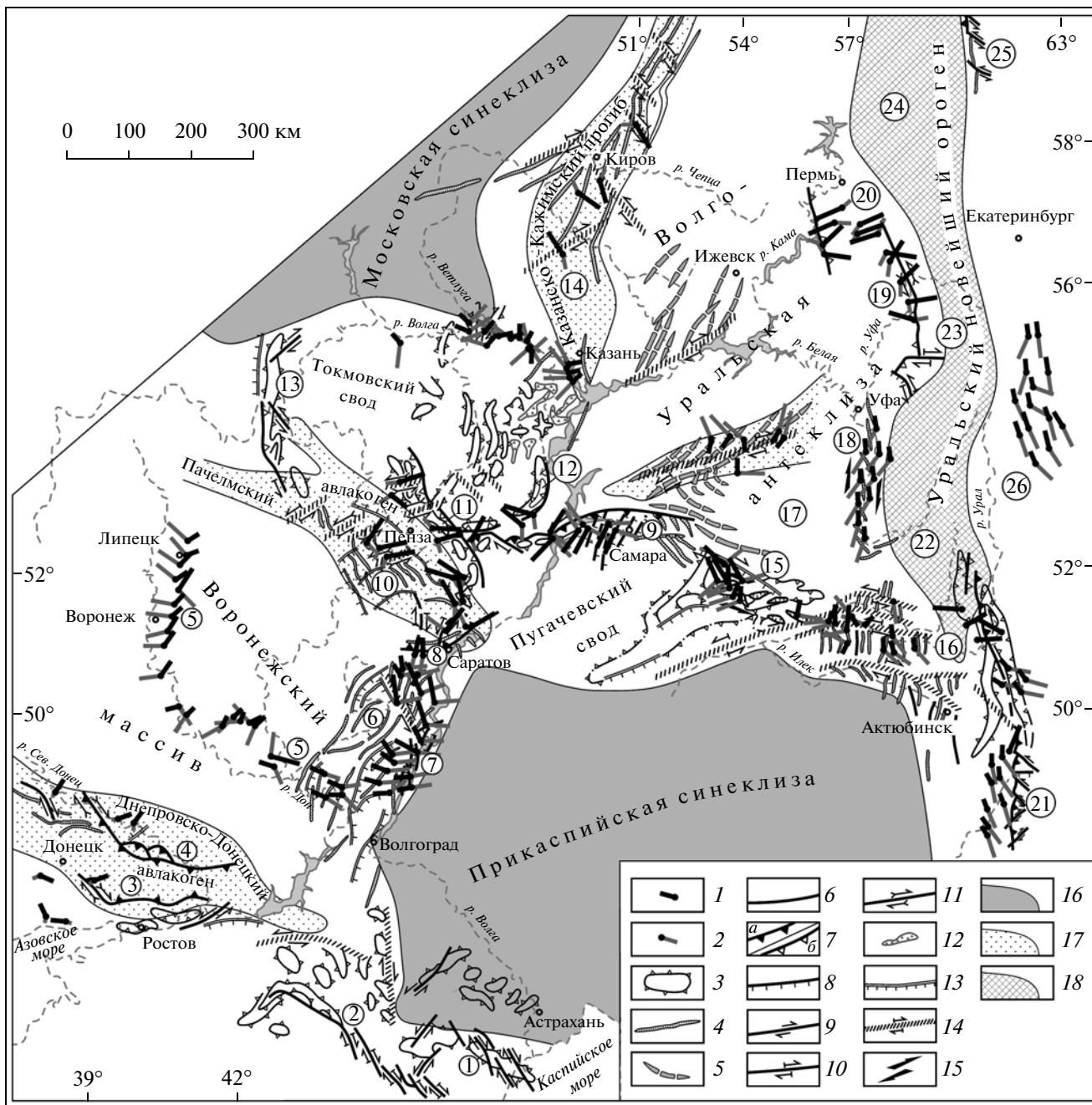
босцементированных породах верхнего мезозоя–кайнозоя [4, 22, 23, 30, 31, 34, 38]. Статистический анализ массовых замеров таких мезоструктур позволяет точно оценить параметры напряжений: ориентацию и наклон главных осей, характер стресс-режима (сжатие, растяжение, сдвиг и др.) и, в итоге, создать карты траекторий напряжений разного знака.

Поскольку общая картина поля новейших напряжений рассматриваемого региона отсутствовала, ее разработка явилась одной из задач проводимых в Геологическом институте РАН (с участием других организаций) исследований, инициированных акад. Ю.Г. Леоновым и продолжавшихся более 15 лет [13, 22, 40 и мн. др.]. Конкретным поводом для настоящего обобщения явилось то, что за это время авторы собрали уникальный массив данных, насчитывающий более 12000 полевых замеров кинематических маркеров. При этом, что особенно важно для наших целей, их значительная часть собрана в верхнемезозойских и кайнозойских породах, то есть эти данные характеризуют кайнозойское поле деформаций, а замеры в породах неогена–квартера напрямую относятся к новейшему этапу.

Частично результаты исследований (касающиеся Окско-Донского новейшего прогиба, Жигулевских и Саратовских дислокаций и свода Общего Сырта) обобщены в работе [22]. компьютерная обработка данных осуществлялась О.И. Гущенко. Рассматриваемая в статье территория включает, помимо перечисленных, регионы Южного Урала и Мугоджар, а на Русской плите – Керенско-Чембарские, Сурско-Мокшинские и Вятские дислокации, Донбасс и поднятия Приуралья. Таким образом, представляемая здесь реконструкция охватывает почти весь центр и во-

Рис. 1. Карта новейших напряжений востока Русской плиты и Урала

1, 2 – компьютерная реконструкция горизонтальных проекций главных нормальных осей эллипсоида напряжений (наклоны осей к горизонту направлены от точки в центре символа, а величина наклона обратно пропорциональна длине штриха): 1 – ось сжатия, 2 – ось растяжения; 3–16 – элементы макроструктуры, содержащие информацию о типе стресс-режима: 3–5 – пликативные структуры: 3 – контуры линейных мегавалов и брахиморфных поднятий, замкнутых и незамкнутых, 4 – оси валов и линейных антиклиналей, 5 – оси валов, новейший возраст которых, только предполагается; 6–14 – дизъюнктивные структуры и флексуры: 6–11 – откартированные разрывы, в том числе: 6 – разрывы неясной кинематики, 7 – взбросы и надвиги: а – установленные, б – 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 внутренней кулиности зоны сдвига с неясными ограничениями; 16 – синеклизы; 17 – авлакогены; 18 – Уральский новейший внутриплитный ороген. Упомянутые в тексте новейшие структуры (цифры в кружках): 1 – Промышловско-Пубукский вал, 2 – Сальско-Маньчский мегавал, 3 – Персиановский взброс, 4 – Северодонецкий взброс, 5 – Среднедонской новейший уступ, 6 – Доно-Медведицкие дислокации, 7 – Балыклейские грабены, 8 – Саратовские дислокации и Елшанско-Сергиевский взброс, 9 – Жигулевские дислокации и одноименный взброс, 10 – Керенско-Чембарские дислокации, 11 – Сурско-Мокшинские дислокации, 12 – Борлинский вал, 13 – Окско-Цнинский вал дислокации, 14 – Вятские дислокации (мегавал), 15 – новейший свод Общего Сырта, 16 – складчатые дислокации востока Общего Сырта, 17 – Бугульминско-Белебеевское поднятие, 18 – Бельские дислокации Предуральского прогиба, 19 – Уфимское поднятие и Суксунский разрыв, 20 – Тулвинское поднятие и одноименный разрыв; 21–24 – Уральский новейший внутриплитный ороген, сегменты: 21 – Мугоджарский, 22 – Южноуральский, 23 – Среднеуральский, 24 – Североуральский; 25 – Лозьвинские дислокации, 26 – Зауральская новейшая структурная терраса



сток Русской плиты, а также Южный–Средний Урал вместе с Мугоджарами (рис. 1).

Помимо специальных мезотектонических исследований, проводилось обобщение литературных данных о кинематике и динамике формирования разрывов. Кроме того, анализировались структурные и геологические карты с целью выявления структурных рисунков, характеризующих разные динамические режимы (особенно сдвиговый). На топокартах и цифровых моделях рельефа 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.

НОВЕЙШИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПО МАКРОСТРУКТУРНЫМ ДАННЫМ

Результаты динамического анализа макроструктур на основе обобщения опубликованных данных подробно освещены нами ранее [22, 23,

28–35], и ограничимся теми его положениями, которые необходимы для сравнения с данными мезотектоники.

Первое из них – разнообразно проявляющееся участие горизонтальной компоненты напряжений в формировании платформенных неоструктур.

Подтвержденные съемкой и бурением взбросы и надвиги единичны (если не считать косвенных аргументов в пользу их более широкого распространения [1, 6, 15, 17, 44]). Большинство из них приурочены к границам активизированных поднятий герцинско-киммерийского фундамента, видимо, более мобильного по сравнению с докембрийским. Так, они обнаружены вдоль бортов новейшего Урала (Лозьвинский – между Средним Уралом и Западной Сибирью, кулисные Новокиевский и Мугоджарский – на границе Южного Урала и Мугоджар с Прикаспийской впадиной), и все параллельны ему. В Донбассе активизированные в кайнозой надвиги [48] – Северодонецкий на севере и Персиановский на юге – подчеркивают дивергентный профиль Донецкого складчатого сооружения (ДСС). Крупный взброс установлен сейсморазведкой и сразу к востоку, где киммерийский фундамент Кряжа Карпинского надвинут к югу на кайнозой Манычского прогиба [55]. В центре же Русской плиты, где на верхний мезозой–эоцен иногда надвигается докембрийский фундамент, единичные взбросы – Жигулевский и Саратовский – угасают к поверхности, замещаясь флексурами (хотя при этом Жигулевский разрыв резко выражен в новейшем рельефе). Несмотря на это, выявленные здесь взбросы полностью не связаны ни со структурным планом, ни с контурами или знаком докембрийских структур. Еще сложнее обстоит дело с выделением надвигов вдоль бортов складчатых зон, возникших при смятии чехлов авлакогенов. Реально доказанных разрывов здесь нет, но некоторые авторы предполагают возможность существования надвигов вдоль более крутых бортов таких складчатых зон [6, 8].

Доказанные сбросы (а именно сильно, более 60° , наклоненные, то есть образовавшиеся при растяжении) – как правило, малоамплитудные (до 100 м), но образуют протяженные домены. Таковы, например, зоны новейших грабенов по краям Прикаспийской синеклизы (см. ссылки на работы А.Н. Мазаровича, В.М. Харченко и др. в [22]): на севере – серия сложенных мелом грабенов внутри полей триаса и перми на новейшем своде Общего Сырта, а на западе – “Балыклейские” грабены с плиоценом в ядре на вершине Приволжской возвышенности. Совсем недавно поле постмаастрихтских (с предполагаемым вы-

ражением 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) [51]. Новейшее растяжение, создавшее сбросы в верхах чехла, несомненно глубинное: в низах последнего оно совпало с будинажем пластов известняков девона, дешифрирующимся на высокоточных сейсмопрофилях.

Однозначно доказанные новейшие сдвиги единичны. На Урале (левые сдвиги, смещающие мел–эоцен Серовского и других валов) они откартированы к востоку от Лозьвинского взброса [42] (см. также [24]); они имеют СЗ простирание, свидетельствуя о субширотном сжатии поперек Урала. Условно можно добавить к доказанным и четко дешифрирующиеся многочисленные сдвиги меридиональной оси Мугоджарской новейшей гряды и крутой привзбросовой флексуры, изгибающей слои мела–эоцена [23]. Простирание диагональных левых и правых сдвигов здесь также указывает на широтное (“уральское”) сжатие; кроме того, зоны тех и других попутны изгибу выпуклой к востоку Мугоджарской дуги, огибающей край Прикаспийской синеклизы (совершенно не исключено при этом, что новейший изгиб просто вписан в имеющий такой же знак, но существенно большую амплитуду, герцинский).

В пределах Русской плиты сдвиги (правые, СЗ простирания) доказаны на юго-западе Прикаспия. По серии таких сдвигов смещена (в сумме до 1–1.5 км) ось простирающегося субширотного (ЗСЗ–ВЮВ) Промысловско-Цубукского вала с олигоцен-миоценовыми слоями в ядре [9]. Кроме того, послемеловые правые сдвиги той же ориентировки обнаружены сейсморазведкой и на параллельном ему Сальско-Манычском мегавале, на следующем древний Кряж Карпинского [22], – но их амплитуду определить сложно из-за вторичной сдвиговой переработки. Взятый в целом, правосдвиговый домен трассируется на Донбасс – судя по кулисности и смещениям послемеловых складок на его западе (ссылки см. в [35]). Заметим, что правые сдвиги преобладают над левыми и на западе Большого Кавказа [21, 25], что прямо свидетельствует о единстве деформации соответствующей части платформенной области и этого орогена.

Севернее, на Русской плите, сдвиги (разного знака) предполагаются также широко, но уже только по особенностям структурного рисунка. Сопряженные правые и левые сдвиги расположены симметрично в центре Доно-Медведицкой складчатой зоны, указывая на ее продольное удлинение в направлении ЮЮЗ–ССВ [22, 31]. Субширотные левосдвиговые изгибы осей валов –

существенный элемент строения Керенско-Чембарской и Сурско-Мокшинской зон дислокаций [28]. Внутри них, особенно на востоке, отмечаются признаки компенсирующего продольное удлинение этих 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 [28]. Еще севернее правые и левые сдвиги осложняют борта Вятских дислокаций (мегавала), рассматриваемых нами в качестве сжатой на севере и раскрытой к югу вынужденной виргации, с движением выжимаемых масс к югу и юго-западу, в сторону соответственно и Прикаспийской, и Московской синеклиз [29].

Другая, очень существенная, особенность новейших макроструктур – дисгармония структур чехла и фундамента – проявляется в двух 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 [16, 44]. Дисгармония такого рода объясняет, почему возникшие при сжатии, с участием взбросов и сдвигов, структуры выполаживаются к поверхности и, с другой стороны, связывает это явление с пассивным поведением чехла, под весом которого угасает глубинное, передающееся извне сжатие. 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 соотношение его кровли с зеркалом складчатости, возникшей при сжатии, инверсионное, а часть складок чехла вообще не имеет корней в фундаменте [8, 29]. В целом, в обоих случаях автономное поведение фундамента и чехла при деформации было бы невозможно при действии фиксированного вертикального давления.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПО МЕЗОСТРУКТУРНЫМ ДАННЫМ В СОПОСТАВЛЕНИИ С МАКРОСТРУКТУРОЙ

Используемые методики анализа мезоструктурных данных

Вводные замечания. Реконструкция поля напряжений на основе изучения мезотектонических

структур разного механического типа: сколов (зеркал и борозд скольжения), отрывов (предпочтительно заполненных жилами или цементированной брекчией) и стилолитовых компрессионных швов проводилась с помощью как стереограмм, так и компьютерных операций. В основе обоих способов обработки данных находится структурно-кинематический анализ сопряженных сколовых смещений [12, 13], сформированных в едином поле напряжений (известный как метод Гущенко), однако особенности его применения и детальность результатов отличаются.

Среди стереограмм, кинематические (где полюса трещин сопровождаются вектором смещения), обработанные по методикам О.И. Гущенко [11] или В.Д. Парфенова [47], демонстрируют наиболее тонкие черты поля деформаций в точке наблюдения, но при этом для них характерен и наибольший разброс данных. Стереогаммы плотности мезоструктур разной кинематики, составляемые уже для крупного региона, иллюстрируют иерархию стресс-режимов, участвовавших в его деформировании, и усредненную ориентировку главных осей, но непригодны для изучения локальных вариаций поля. Общий недостаток многих методов анализа стереограмм – приблизительность определения ориентации и наклона осей деформации. Результаты обработки стереограмм разного вида для многих частей рассматриваемой территории публиковались нами в ряде работ [19, 22, 30, 31, 34, 35 и др.].

Применение компьютерных программ помогает точнее реконструировать параметры поля деформаций: ориентацию и наклон главных осей, а также типы нагружения (стресс-режимы): сжатие, растяжение, сдвиг и “взрезовой” режим (режим вертикальных перемещений), характеризуемые коэффициентом Лоде-Надаи. Кроме того, оно облегчает сепарацию интегрального массива данных на группы, соответствующие частным полям напряжений (фазам нагружения), действовавшим неодновременно. Наконец, особое преимущество компьютерной обработки – возможность увидеть согласованную картину поля напряжений для крупных территорий. С другой стороны, неизбежная при компьютерном анализе генерализация данных автоматически “отсекает” важные детали, заметные на стереограммах.

Особенности компьютерного анализа. Теоретические основы структурно-кинематического анализа заложены в [5, 7, 10–12, 18, 38], а принципы составления алгоритмов для компьютера – в [2, 3, 11–13]. Использование ЭВМ обеспечивает, во-первых, возможность анализа крупных массивов информации (с объемом, лимитируемым масштабом генерализации поля напряжений) и,

во-вторых, возможность управления точностью вычислений для нахождения оптимальных решений. В свою очередь, это облегчило выполнение сепарации векторов смещений на группы, соответствующие тому или иному стресс-режиму, и выявление последовательных рядов инверсионной смены фаз стресс-режимов [1–3, 11–13]. Последняя выражена в “переиндексации” (инверсии) главных осей тензора напряжений. При этом знак и относительная величина какой-либо из осей последнего меняется на 90° (фазы смены: $\sigma_1 \leftrightarrow \sigma_2$, $\sigma_3 \leftrightarrow \sigma_2$ и т.д.), при постоянстве ее ориентировки [3, 6, 8, 10, 13, 24]. О.И. Гущенко [16] подробно рассмотрел теоретические основы и обосновал последовательность процедур структурно-кинематического метода применительно к реконструкции во времени условий нагружения. В зависимости от качества данных компьютерный анализ позволяет выделить в отдельном обнажении результаты действия от 1–2 до 4–6 сменявшихся стресс-режимов, накапливавшиеся в виде сочетания мезоструктурных парагенезов разного типа.

Разумеется, конкретный возраст реконструируемых подобным образом механизмов нагружения (выраженных частными полями напряжений) решается отдельно [13], но предварительно следует учитывать два возможных варианта: (1) эти механизмы принадлежат не связанным одна с другой тектоническим 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 действующих рядом разных механизмов деформации с подвижной, пульсирующей границей их ареалов и в рассматриваемых условиях наиболее вероятен. Практически же наличие нескольких решений стресс-режима для конкретного участка означало для нас необходимость выбора одного из них для включения в сводную карту – и здесь выбирался более соответствующий динамическим чертам макроструктуры.

Отдельных комментариев требуют принципы генерализации данных при построении разномасштабных карт поля напряжений. От ее уровня зависит не только нагруженность карты символами, но и сам характер регистрируемых стресс-режимов и, иногда, ориентация осей напряжений. Для того чтобы получить согласованную карту более мелкого масштаба, нужно увеличить радиус палетки осреднения, либо генерализовать сами выборки первичных данных: отсечь векторы, не согласующиеся между собой и с главным стресс-режимом.

По первому пути генерализация осуществляется методом скользящего окна, и в нашем случае для районов с разной плотностью точек наблюдения применялись окна с радиусом круга осреднения от 0.3° до 3° . В итоге поле векторов выглядит хорошо организованным (“сглаженным”): они выстраиваются субпараллельно друг другу с одинаковыми интервалами. Итоговая карта легко читается и подчеркивает доминирующий деформационный стиль. Однако при сильном разбросе данных увеличение окон осреднения 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 со 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 [22], а также Южного Урала (обработка О.И. Гущенко). Поскольку в пределах изучавшихся районов ВЕП точки наблюдения были расположены равномерно, а поле напряжений оказалось однородным, применялись палетки с относительно низким (0.3° – 1°) радиусом осреднения; искажение топографической привязки получилось невелико. Это позволило включить соответствующие результаты в публикуемую здесь итоговую карту (см. рис. 1). Зато для Урала–Мугоджар, где материал собирался в узких кайнозойских прогибах, а разброс результатов оказался гораздо большим, данный способ генерализации, с радиусом осреднения 3° , 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 (см. рис. 2), нивелирует многие его детали, уступая стереограммам (ср. рис. 2 с рис. 4, 5 в [23]).

Поэтому чтобы добиться большего правдоподобия и информативности карты, для отдельных частей Урала пришлось пересчитывать соответствующие результаты вторым из указанных способов. Он заключается в составлении разновеликих выборок 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 наиболее равномерно охарактеризовать изучаемые структуры, а их географические координаты рассчитывались путем интерполяции координат реальных пунктов наблюдений.

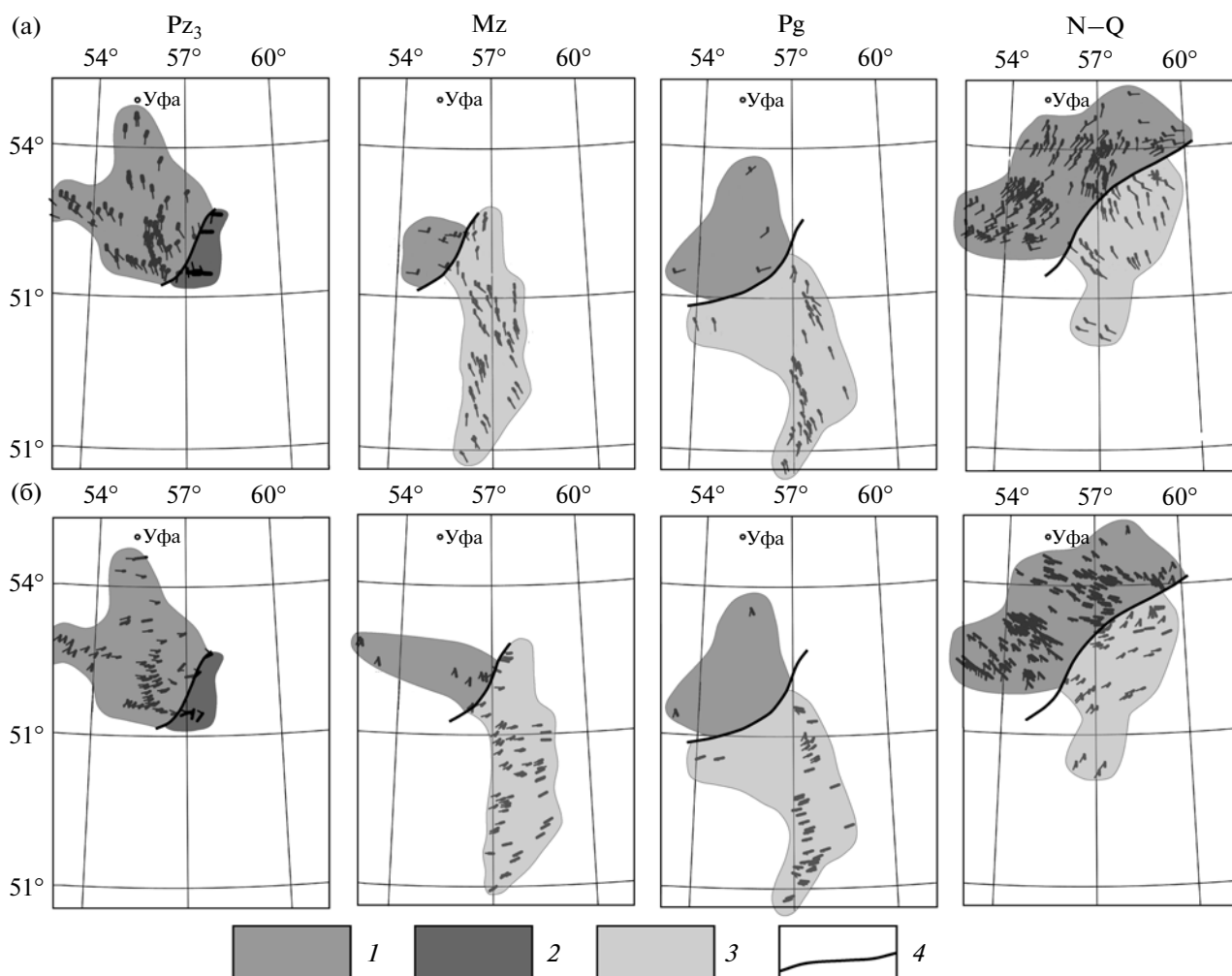


Рис. 2. Сравнение структуры поля новейших напряжений Южного Урала, реконструированного для пород разного возраста: Pz – палеозойских, Mz – мезозойских, Pg – палеоцен-эоценовых, N–Q – неоген-четвертичных (по О.И. Гущенко); площадь осреднения полей 3° × 3°. (а) – Оси сжатия и растяжения: соответственно утолщенные и тонкие линии, (б) – направления правого и левого сдвига: соответственно утолщенные и тонкие линии
1–3 – типы стресс-режима: 1 – сдвиговый, 2 – взбросовый и взрезовой, 3 – сбросовый; 4 – границы стресс-режимов

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

Геологический возраст маркеров смещения. Как уже говорилось, большая часть мезоструктурного материала собрана нами в породах верхней юры–эоцена, а кое-где – неогена–квартера. В местах же их отсутствия наблюдения проводились в палеозойских породах чехла. Если результаты, полученные для верхов мезозоя, еще можно экстраполировать на кайнозой, то для палеозоя это уже требует комментариев – герцинское сжатие Урала вполне могло распространиться хотя бы на соседние части Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Между тем анализ литературно-картографических материалов, в том числе последних данных ГДП-200, показывает, что если не считать пологого географического несогласия в подошве юры (несомненно, отражающего поднятие платформы, но вряд ли – ее сжатие), реальная инфор-

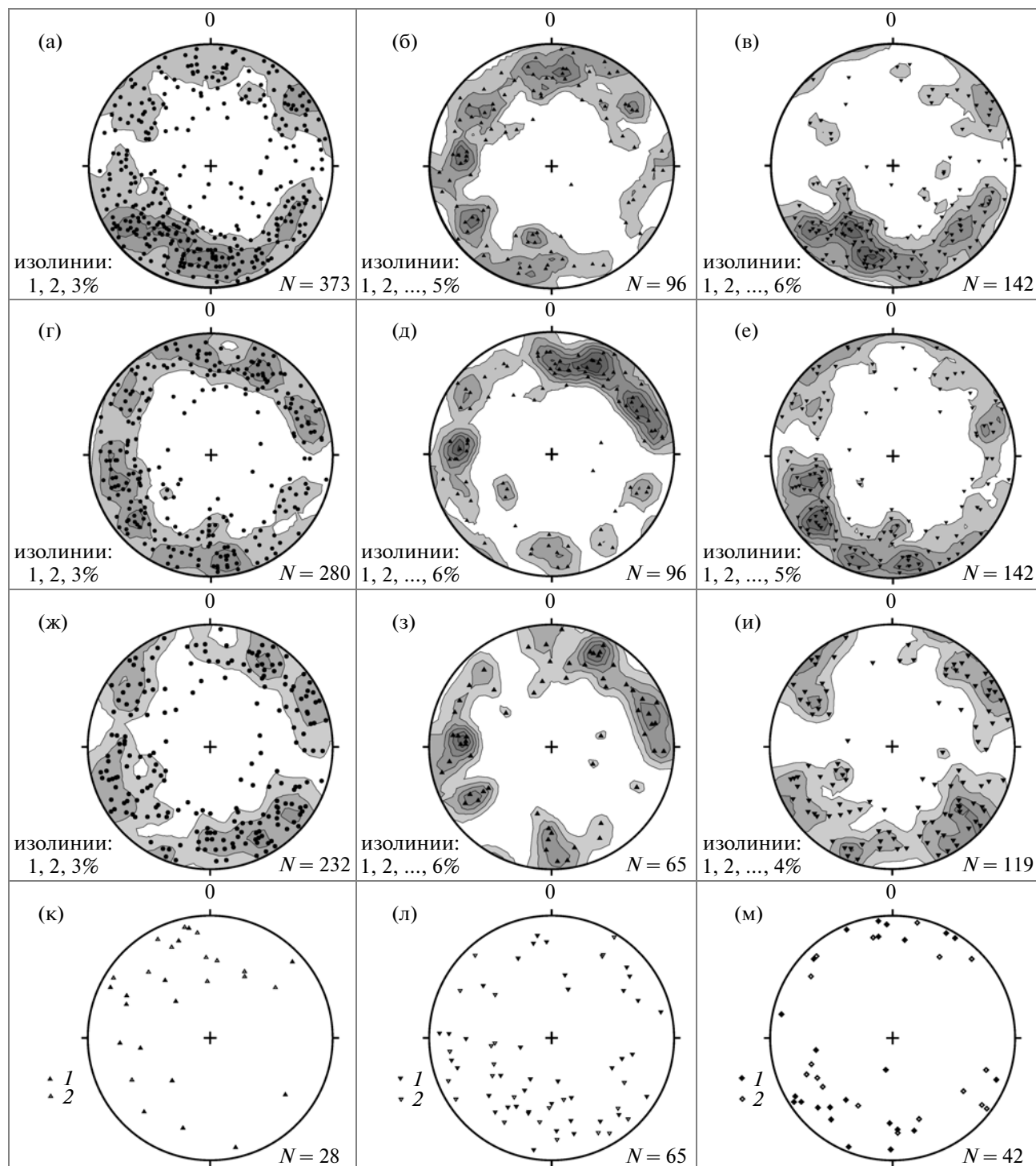


Рис. 3. Сравнение стереограмм плотности полюсов мезоструктур разной кинематики в пермских и четвертичных породах Тулвинского новейшего свода (проекция на верхнюю полусферу). N – Количество мезоструктур разной кинематики [34]. (а–в) – для пород перми: (а) – все мезоструктуры, (б) – взбросы, (в) – сбросы; (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: 1 – правые, 2 – левые; (л) – сбросо-сдвиги: 1 – правые, 2 – левые; (м) – сдвиги: 1 – правые, 2 – левые

мация о проявлении герцинско-киммерийских движений в изученной части ВЕП только этим и исчерпывается. Построенные по данным бурения

и геофизики профили через новейшие дислокации показывают, что верхнемезозойские слои (и палеогеновые, в местах наличия) смяты согласно

с палеозойскими. Таким образом, герцинско-киммерийская деформация Урала по каким-то причинам не продлилась западнее Предуральяского прогиба. При этом позднеальпийское сжатие ВЕП почему-то проявилось гораздо шире герцинско-киммерийского, а также ларамийского [27].

Кроме общих соображений, о кайнозойском возрасте послепермских кинематических маркеров свидетельствует сравнение результатов определения параметров поля напряжений, определенных в палеозойских породах чехла, с соответствующими данными для более молодых пород. Так, для Южного Урала и соседних частей ВЕП анализировались данные отдельно для перми, верхней юры—мела, эоцена, складчатого неогена и, в Зауральской новейшей структурной террасе, — горизонтально залегающих слоев квартера. На рис. 2 видно принципиальное различие полей напряжений в платформенных чехлах востока ВЕП (меридиональное укорочение и широтное удлинение) и Урала (меридиональное, с отклонениями до 30°, удлинение, с поперечным укорочением). Однако при этом внутри как платформы, так и Урала существенная разница в ориентации напряжений для разновозрастных пород чехла отсутствует. Подобная корреляция прямо свидетельствует о кайнозойском (новейшем, судя по деформированности эоценовых и неоген-четвертичных пород) возрасте кинематических маркеров в уральских прогибах. Широтные векторы сжатия, полученные по смятым в складки слоям палеозоя в Предуральском прогибе, несомненно, отражают его герцинскую деформацию.

В других местах (Воронежский массив (у г. Павловска), Тулвинская возвышенность Приуралья) по стереограммам плотности сравнивалась кинематика трещин, замеренных в палеозойских и мезозойско-четвертичных слоях (рис. 3). Оказалось, что в тех и других преобладают близкие кинематические парагенезы, на основании чего для обоих районов сделан вывод о новейшем возрасте поля напряжений, восстановленного по замерам в породах палеозоя [19, 22, 32, 34]. Подчеркнем, однако, что подобные хорошие совпадения отмечались только для пород чехла. В то же время, попытки вычленить составляющую новейшей деформации в сложно деформированных породах фундамента — как палеозойского (древ-

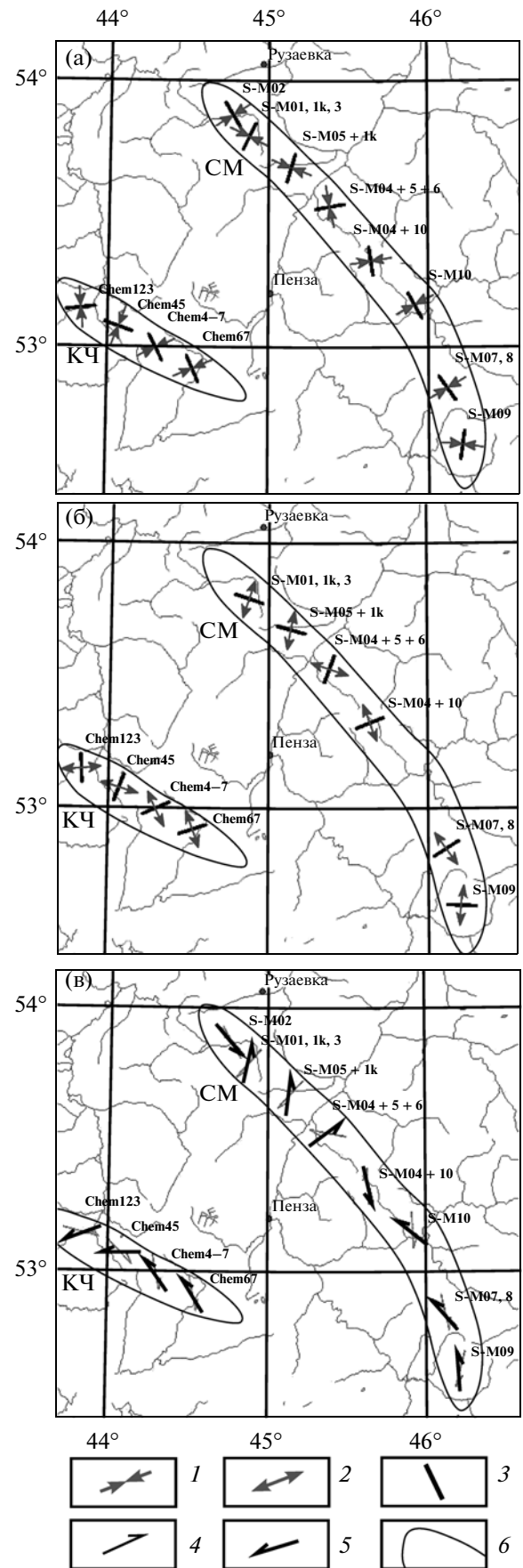


Рис. 4. Карты напряжений Сурско-Мокшинских (СМ) и Керенско-Чембарских (КЧ) дислокаций: (а, б) — нормальных: (а) — для взбросового режима, (б) — для сбросового, (в) — касательных
1 — ось сжатия, 2 — ось растяжения, 3 — промежуточная ось, 4 — правый сдвиг, 5 — левый сдвиг, 6 — контуры зон дислокаций

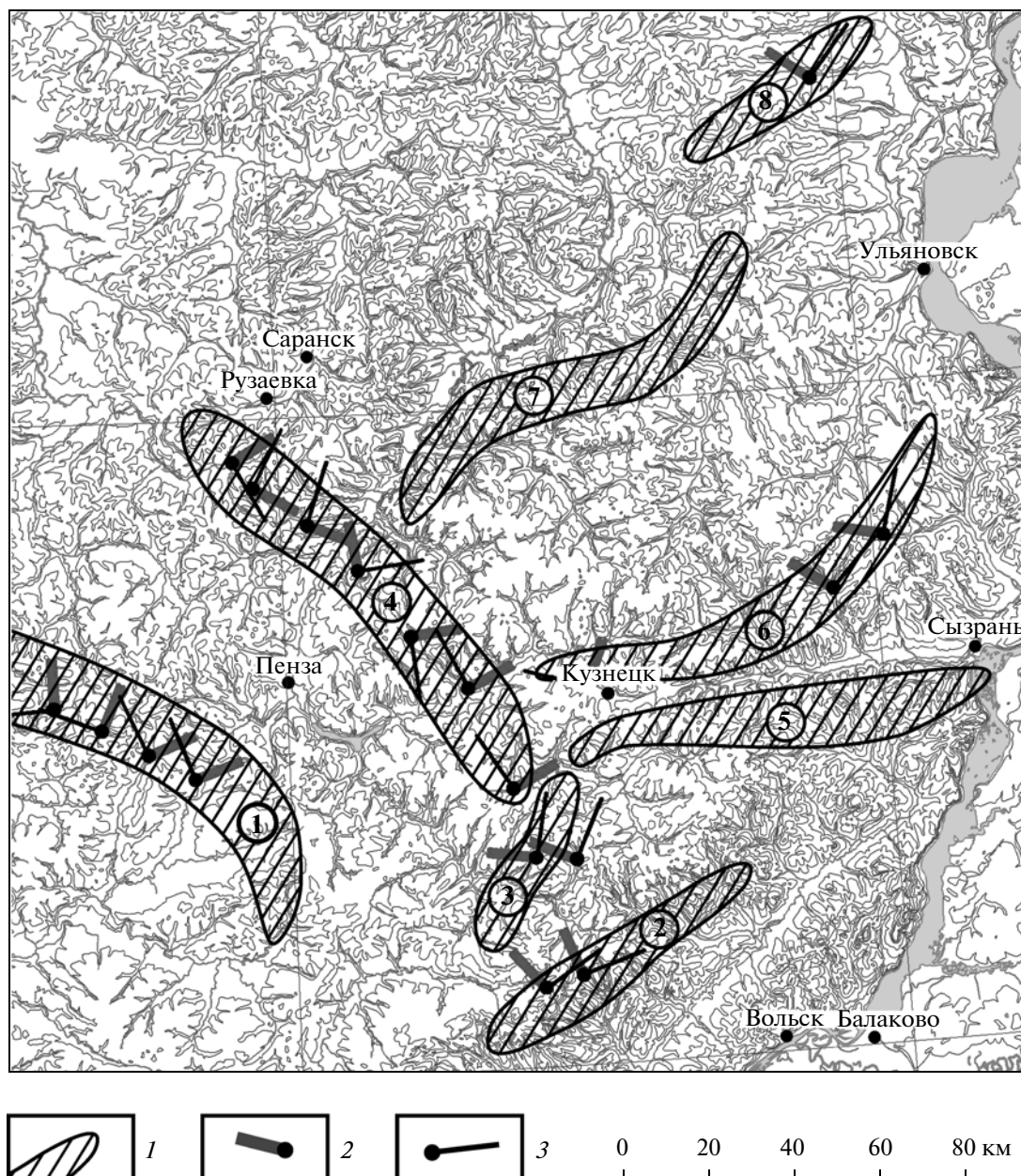


Рис. 5. Пензенский складчатый узел

1 – контуры структур: 1 – Керенско-Чембарские дислокации, 2 – Базарнокарабулакское поднятие, 3 – Кикинское поднятие, 4 – Сурско-Мокшинские дислокации, 5 – Жигулевский вал, 6 – Борлинский вал, 7 – Присурский вал, 8 – Карлинские дислокации; 2, 3 – оси нормальных напряжений (наклон от точки): 2 – ось сжатия или относительного укорочения, 3 – ось растяжения или промежуточная ось

ний Урал), так и докембрийского (Павловский карьер) – оказались малоуспешными [22, 23, 32].

Итоговые картографические материалы. Для большей части территории синтезирована серия картографических моделей отдельно для каждого из нормальных и касательных напряжений, а также для двух–трех разновозрастных полей напряжений меньшего ранга, которые могут быть выделены в каждом конкретном месте. Примеры не-

которых таких карт приведены на рис. 4 (а также на рис. 71, 103 [22]); их комплект наиболее близко отражает особенности динамики крупных новейших структур. Параллельно для всей рассматриваемой территории составлена единая генерализованная карта поля напряжений (см. рис. 1), на которой показаны горизонтальные проекции осей двух главных нормальных напряжений – оси наибольшего сжатия σ_3 (или, точнее, оси укороч-

чения: в разных местах это либо действительно ось σ_3 , либо промежуточная ось σ_2 — при сбросовом стресс-режиме), и ось наибольшего растяжения σ_1 . Эта главная (тектоническая) нагрузка карты совмещена с элементами макроструктуры, содержащими информацию о кайнозойском напряженном состоянии (см. пред. раздел).

Результаты реконструкции поля напряжений

Последовательно для разных регионов рассмотрим результаты по трем параллельным линиям: тип стресс-режима¹, ориентация осей нормальных напряжений, наклон этих осей.

В районе Донбасса установлено послемеловое продольное растяжение Донецкого складчатого сооружения (ДСС) в сбросовом и сдвиговом режимах в направлении от З-В до ЗСЗ-ВЮВ, с ССВ, поперечным ДСС сжатием [35]; ось последнего наклонена чаще в южных румбах, а ось растяжения — к западу. Диагональная по отношению к ДСС ориентировка растяжения подтверждает на новом материале вывод о правом сдвиге вдоль ориентированного СЗ-ЮВ Северодонецкого взброса [38]. Для параллельного западного отрезка Персиановского разрыва данные неоднозначны: по разным выборкам, он выглядит то как правый сдвиг, то как сброс; последнее противоречит геологическим данным. Впервые собранные массовые замеры в третичных породах Тузловской (Северо-Азовской) впадины и на крыльях поперечного к ДСС Волновахского новейшего вала, СВ простирания, выявили постэоценовое поперечное (СЗ) сжатие последнего во взбросовом режиме и продольное растяжение — в сбросовом. К востоку же, во впадине, укорочение сменяется растяжением вдоль той же, СЗ, оси — что заставляет рассматривать эту структуру вместе с Волновахским валом как сопряженную динамопару. Вероятно, сжатие последнего компенсировало суммарный правый сдвиг ДСС по указанным разрывам, тогда как Тузловская впадина возникла при растяжении в тылу сдвинутого блока [35]. Так или иначе, для Донбасса подтверждается участие правых сдвигов — как и в соседних Промысловско-Цубукском и Сальско-Маньчском валах.

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

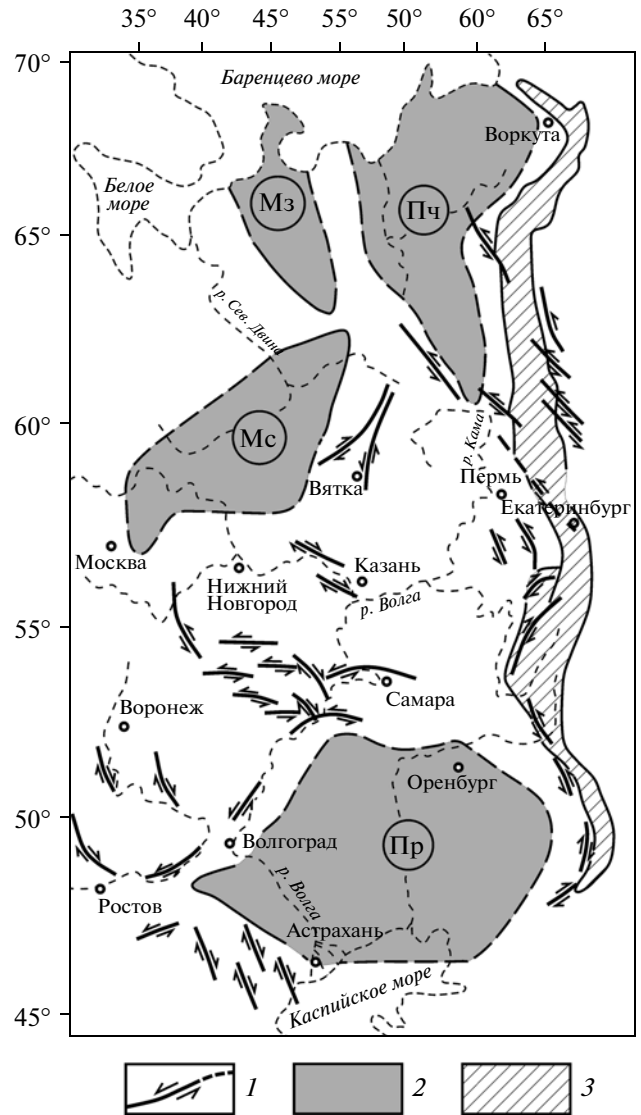


Рис. 6. Новейшие сдвиги востока Русской плиты и Урала [9, 22–24, 28–30, 35, 42]

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

крутыми бортами долин бассейна Дона (“Донской уступ”). На меридиональной западной границе в породах девона и мела фиксируется растяжение З-В (на севере — до СЗ-ЮВ) в сдвиговом и, кое-где, сбросовом стресс-режимах [22, 26, 32]. Ось растяжения везде наклонена к западу — от Воронежского массива к Московской синеклизе, а ось сжатия погружается в С-СВ румбах. Сложенный мелом южный отрезок уступа, где он особенно крут, возник при некотором сжатии — во взбросовом и взрезовом стресс-режимах. В плане уступ здесь синусоидально изогнут в виде “коленчатого вала”, и, по данным анализа стереограмм,

¹ Тип стресс-режима читатель легко определит на рис. 1 по конфигурации динамического символа: взбросовый — выражен существенно большей длиной вектора укорочения по сравнению с таковой вектора удлинения, а сбросовый — наоборот; при сдвиговом — обе оси примерно равновелики и перпендикулярны одна другой; “взрезовый” режим узнается по расположению на одной линии равновеликих проекций осей разного знака, и это означает, что они наклонены противоположно под примерно одинаковым углом.

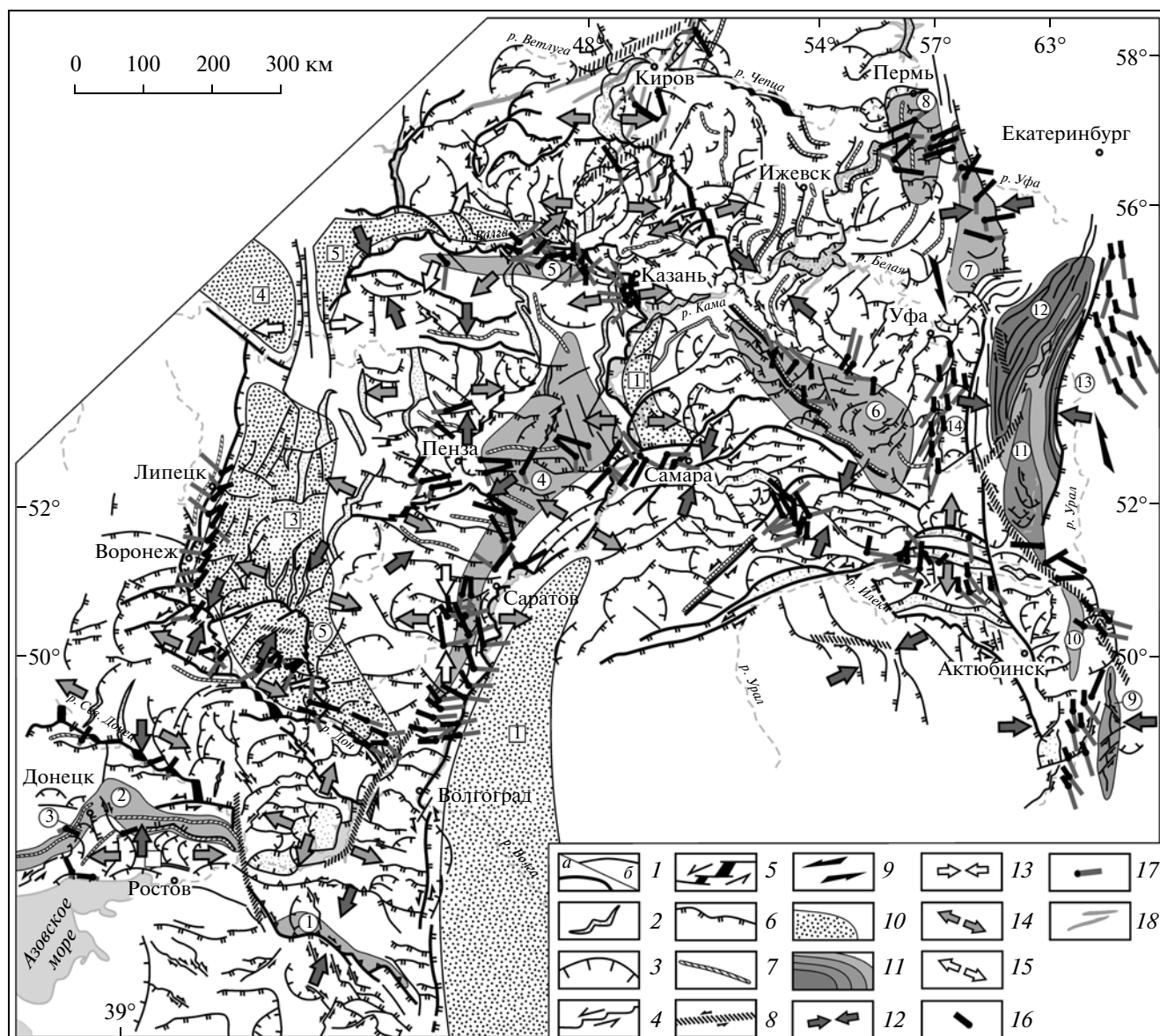


Рис. 7. Четвертичные напряжения востока Русской плиты и Урала, по данным анализа морфоструктурных рисунков 1 – элементы гидросети с выраженными в их геометрии и взаимном расположении признаками тектонических смещений: а – первого порядка, б – остальные; 2 – аномально расширенные и часто зигзагообразные в плане долины, маркирующие раздвиговый тип смещения; 3 – дугообразные неотектонические уступы (штрихи – по погружению), вогнутые к соседней депрессии рельефа и маркирующие сбросовый тип смещения; 4 – кулисные участки долин, связанные со сдвигом; 5 – кулисные расширения долин – возможные пулл-апараты в зоне сдвига; 6 – прямолинейные в плане, синусоидально изогнутые или выпуклые к соседней депрессии неотектонические эскарпы (двойные штрихи – по погружению), маркирующие взбросовый тип смещения; 7 – гребни некоторых водоразделов (только для сильно асимметричных водоразделов); 8 – широкие сдвиговые зоны, выраженные в кулисном расположении крупных элементов гидросети и/или линейных водоразделов; 9 – то же, с неясными ограничениями; 10, 11 – элементы неотектонического районирования: 10 – прогибы (цифры в квадратах): 1 – Заволжский, 2 – Тузовский, 3 – Окско-Донской, 4 – Мещерский, 5 – Волжско-Ветлужский; 11 – поднятия (цифры в кружках); степень воздымания условно градуирована яркостью тона: 1 – Сальско-Маньчский мегавал, 2 – Донецко-Волновахский мегавал, 3 – его Волновахский отрезок, 4 – Приволжский сложный мегасвод, 5 – Нижегородско-Чебоксарский вал (северная часть Приволжского поднятия), 6 – Бугульминско-Белебеевский мегасвод, 7 – Уфимский асимметричный горст, 8 – Тулвинский мегавал, 9 – Мугоджарский мегавал, 10 – Эмбенский вал, 11–13 – сложный мегасвод внутриплитного орогена Южного Урала: 11 – древнее ядро, 12, 13 – взброшенные прибортовые блоки: 12 – Ямантауский, 13 – Ирендыкский; 12–17 – горизонтальные проекции векторов нормальных напряжений: 12–15 – по морфоструктурным данным (предположительные): 12 – сжатия, 13 – то же, неуверенно, 14 – растяжения, 15 – то же, неуверенно; 16, 17 – по результатам мезотектонических наблюдений: 16 – сжатия, 17 – растяжения; 18 – оси валов Вятских дислокаций

на его широтных отрезках локализуется взброс, а на диагональных — сдвиг [22, 32].

В Пачелмском авлакогене и Ульянов-Саратовском прогибе изучались дислокации верхнеюрско-эоценовых слоев. Вытянутые вдоль борта Прикаспийской синеклизы валы Доно-Медведицких дислокаций демонстрируют пример взрзового стресс-режима. По стереограммам, здесь противоречиво сочетаются поперечные к дислокациям укорочение и удлинение; отмечалось и локальное рассеяние результатов [31]. Генерализация же данных на компьютере показала, что смятие произошло при наклоненных одна от другой субширотных осях сжатия и растяжения: первая погружается от Прикаспийской синеклизы к западу, а равновеликая вторая — наоборот, к ней [22]. При этом мезотектонические данные, независимо от способа их обработки, согласуются с наличием флексур ЮЮЗ простирания, выраженных в юрско-меловых слоях и обращенных к синеклизе, причем крупнейшие складчатые пакеты приурочены к их бровкам (см. рис. 1). Это позволило считать рассматриваемые дислокации при сбросовыми, компенсирующими широтное новейшее растяжение борта синеклизы [22, 31]. Последнее задокументировано меридиональными Балыклейскими грабенами (см. выше) и мезотектоническими данными по уступу Волги у Камышина [22]; рядом с дислокациями оно осуществлялось в сбросовом режиме, а к Саратову усиливается роль сдвига.

Режим сдвига (со сжатием от Ю-С до ЮЗ-СВ и растяжением от З-В до СЗ-ЮВ) характерен и севернее — для Саратовских и Жигулевских дислокаций, причем здесь часто встречаются настоящие сдвиги с пологой (до 45°) штриховкой. На востоке Саратовских дислокаций сдвиговые парагенезы — левые; кроме того, левый сдвиг подтверждается кулисностью складок, оперяющих Елшанско-Сергиевский взброс [22], и тот же знак сдвига ощущается в косоориентированном к последнему сжатию. Вдоль же западной части взброса фиксируется правый сдвиг. По диагональной к линии разрыва ориентировке векторов деформации уверенно обнаруживается левый сдвиг и вдоль Жигулевского взброса [30], подтвержденный особенностями структурного рисунка. При этом неожиданным и даже противоречащим данным бурения оказалось отсутствие для обеих зон дислокаций твердых признаков взрзового режима. Возможно, это частично связано с плохой обнаженностью Жигулевского разрыва: единичные взрзовые зеркала скольжения встречены в его крыле, сама же линия перекрыта аллювием. Однако то же отмечается и для Елшанско-Сергиевского взброса, где этой причины нет. Более того, вдоль его линии доминируют сбросы — что уже прямо противоречит надвигу. Возможное объяснение этому будет предложено ниже.

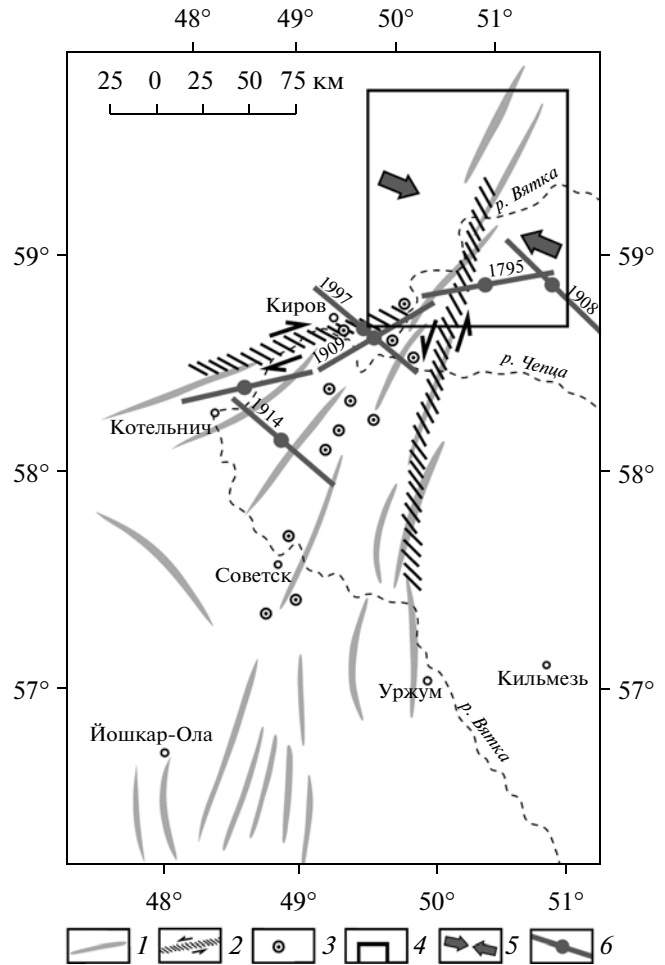


Рис. 8. Сопоставление сейсмических событий со структурно-кинематической схемой Вятской виргации [36]

1 — оси валов; 2 — сдвиговые зоны; 3 — точки мезотектонических наблюдений; 4 — контур участка, где в структурном рисунке проявлены диагональные левые сдвиги [33]; 5 — установленное по ним направление сжатия; 6 — эпицентры исторических землетрясений и простирание их очагов, с обозначением года события

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 взрзо- и сбросо-сдвиговым штриховкам (которые как раз распространены широко). Отмечаются постепенные переходы от взрзового до обратного — сбросового наклона плоскостей трещин, аккомодирующие вращение блоков вокруг горизонтальной оси (взрзово-сбросовый “пояс вращения”). По данным же компьютерного анализа выделяются два самостоятельных режима: сбросовый — с растяжением СЗ-ЮВ, наклоненным к ЮВ (главный), и взрзовый, со сжатием ЮЗ-СВ и наклоном в север-

ных румбах (см. рис. 4). Такая конфигурация осей напряжений, со сжатием поперек валов и растяжением вдоль них, подтверждает левый сдвиг по 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 компонентой сдвига) подняты ближе к поверхности, и поэтому сдвиг сильнее влияет на кинематику трещин в верхах чехла. В Керенско-Чембарских же дислокациях, заложенных на прогибе фундамента, это условие не соблюдается. Вместе с тем, указанная причина вряд ли единственная: стоит иметь в виду, что растяжение доминирует и севернее — как на Токмовском массиве [26], так и в Казанско-Кажимском прогибе (с Вятскими дислокациями), проявляясь, как видно, и вне связи с глубиной до фундамента. С другой стороны, как и в других регионах, здесь присутствует зависимость стресс-режима от уровня генерализации. Так, для Вятских дислокаций выборки с небольшим (70–80) количеством замеров показывают два конкурирующих вида сбросового режима, с растяжениями: поперечным, ЗСЗ-ЮЮВ (преобладает), и продольным (ЮЮЗ-ССВ) [29, 36]. Однако повышение генерализации до 120–150 замеров усилило разброс сбросовых зеркал скольжения, но зато — согласованность сбросовых, а после и сдвиговых. Ось сжатия, восстановленная этим путем, ориентирована от СЗ-ЮВ до ССЗ-ЮЮВ — поперек и по диагонали к дислокациям. Такое решение больше соответствует их складчатому строению и участию левого сдвига, заметному по структурному рисунку [29]; поэтому взбросовый режим (к тому же находящийся в середине ряда генерализаций) включен в итоговую карту (см. рис. 1). В этой связи показательна большая устойчивость ориентации и наклона оси сжатия, при этом чаще она наклонена к ЮВ вместе с более крутым восточным бортом мегавала.

Разноплановые поля напряжений отмечаются и для новейших поднятий, осложняющих Волго-Камскую антеклизу между Вятскими дислокациями и Уралом.

Для свода Общего Сырта выделены сдвиговый и сбросовый режимы с растяжением З-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 [22], но противоречит системе широтных грабенов мела. (Вместе с тем, отсеченные генерализацией “сглаживания” сбросовые парагенезы меридионального удлинения присутствуют в исходном материале

[22].) В основной части Бугульминско-Белебеевского поднятия установлено растяжение СЗ-ЮВ (наклон оси чаще — к СЗ) [19], 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), обнаружилось мезоструктурные взбросы и вбросо-сдвиги [19, 34], указывающие на режим транспрессии (левосдвиговой?) со сжатием З-В — ЮЗ-СВ — по диагонали и поперек разрыву и с наклоном согласно экспозиции последнего. С транспрессией конкурирует сбросовый режим меридионального растяжения, наклоненного к югу. Субширотное укорочение, но с растяжением в своде, установлено и для Тулвинского новейшего вала [19, 34]. Сжатие локализовано у его более крутого западного крыла, осложненного разрывом.

В Южноуральско-Мугоджарском регионе наиболее яркие проявления режимов сжатия — взбросового и сдвигового — отмечаются около взброса Мугоджар, в юрско-меловых отложениях его лежачего крыла. Ось сжатия, воздымающаяся к взбросу, ориентирована поперек или по диагонали к нему, указывая на участие сдвига: на юге — правого, а на севере — левого (см. также [23]). По удалении от взброса к западу, в палеогеновой моноклинали, сжатие уступает место растяжению с осью вдоль Мугоджар, наклонена же она к югу — по погружению Мугоджар и Урала. Севернее, около кулисного к Мугоджарскому Новокиевского взброса, в юре—мелу Таналык-Баймакского прогиба, режим сдвига уступает место взбросовому и сбросовому (при том, что сдвиг четко выражен в макроструктуре [23]). 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 интенсивное смятие). Оно здесь заменилось совместимым с ним меридиональным “уральским” растяжением, характерным для обоих фиксируемых здесь сбросовых режимов (различающихся лишь противоположным наклоном его оси — к северу и к югу). При субмеридиональном (ЮЮВ-ССЗ) растяжении деформировались и четвертичные породы Зауральской новейшей структурной террасы южнее Челябинска; помимо зеркал скольжения, об этом свидетельствуют трещины отрыва, заполненные стяжениями карбонатов — журавчиками [4].

Сопоставление макро- и мезоструктурных данных о параметрах 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, сбросовый и сдвиговый; 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 приоритетным и универсальным [22, 23 и др.]. 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).

Ограниченная информативность мезоструктурных данных для сдвигового режима может быть вызвана близостью земной поверхности: она облегчает перемещения и деформации вдоль вертикальной оси (что как раз присуще сбросовому и взбросовому режимам). Напротив, изучение крупных макроструктур (они имеют корни на глубине) дает более объективное представление о сдвиговой компоненте поля напряжений. Однако все равно требует объяснения преобладание сбросовой трещиноватости над взбросовой даже в зонах некоторых крупных разрывов сжатия. Факт увеличения амплитуды разрывов вниз по разрезу (см. ссылки в [22]) позволил это объяснить затуханием идущих от фундамента сжимающих напряжений под весом более пассивного чехла [22]. При этом сжатие, убывающее вверх, но все же сопровождающееся подъемом козырьков взбросов и вершин валов, вызывает компенсационное растяжение кровли. Подобное требует наличия срывов между чехлом и фундаментом, примеры чего приводились. Нарастание сжатия вглубь подтверждается и компьютерным ранговым анализом посредством увеличения генерализации: 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. Главные из них определяются дистанцией от находящейся южнее коллизионной зоны. Так, в пределах ВЕП ареалы режимов сжатия, особенно сдвигового, встречаются не севернее широт 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 массива и вплоть до Вятских дислокаций, господствует растяжение в различных его модификациях. Та же тенденция повторяется и для Уральского меридиана, причем она не всегда согласуется со степенью вертикального поднятия. Так, сдвиговый режим (по мезоструктуре) установлен только для самой южной и низкой Мугоджарской гряды, тогда как гораздо более высокий Южный Урал деформировался во взбросовом и сбросовом режимах.

Более локальные вариации стресс-режима связаны с глубиной кровли фундамента. Дислокации на участках его подъема (например, Жигулевские на Пугачевском своде) деформировались в условиях сжатия в сдвиговом режиме, фиксируемом всеми способами. Возникшие же в прогибах фундамента (Керенско-Чембарские дислокации на Пачелмском авлакогене), являют примеры сдвиговых парагенезов только в макроструктуре. Вариации такого рода увязываются с обосновываемой выше большей глубиной сдвигового режима (подъем кровли фундамента автоматически увеличивает влияние глубинных сдвигов на кинематику поверхностной трещиноватости), но они же еще раз подтверждают компрессионный характер напряжений, идущих из консолидированной коры.

Можно сделать следующие выводы о типе новейшего стресс-режима: (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 (по макроструктурным данным); (2) по латерали с севера на юг, по мере приближения к зоне коллизии, сжатие возрастает (в том числе и в форме сдвига, вообще-то слабо 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 деформации. По этому признаку, а также типу стресс-режима, выделяются следующие структурно-динамические домены.

В первом из них (условно, “южном”), охватывающем Донбасс, Воронежский массив и Прикаспий, преобладает субмеридиональное, до ЮЗ-СВ, сжатие и субширотное растяжение. Другой домен (“восточный”) включает Южный Урал и Мугоджары. Ось растяжения там направлена субмеридионально – поперек таковому в предыдущем домене, ось сжатия ориентирована более разнооб-

разно – от З-В до СВ и СЗ, но субмеридиональная ее ориентировка (при пологом наклоне) отсутствует. Такие решения векторов деформации в каждом домене, полученные по мезоструктурным данным, полностью согласуются с определяемыми по макроструктуре. Кроме того, дисбаланс определений типа стресс-режима, фиксируемого разными способами, в обоих доменах наименьший. Меридиональная ориентировка оси сжатия в южном из них 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 субшироотно, но по мнению [23, 39, 41], это – результат преломления коллизионного давления у меридионального восточного края ВЕП.

Домену внутри угла между широтным южным и меридиональным восточным доменами (“северо-западный”) присущ особый стиль структуры и ориентации напряжений, определяемой приоритетом растяжения (ориентированного как субшироотно, так и субмеридионально). Попутно возрастает дисбаланс определенных по макро- и мезотектоническим данным параметров – ориентировок напряжений и типа стресс-режима, а сбросовый режим доминирует даже на тех структурах, которые вообще сложно объяснить без горизонтального сжатия (как упоминавшиеся Вятские и Керенско-Чембарские дислокации [28, 29]). В рельефе домен выражен областью широких депрессий – наложенных новейших прогибов: Окско-Донского, Заволжского, Закамского и Волжско-Ветлужского, на краях которых сосредоточены все известные сбросы и грабены. Границы домена с 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 со стрессами на периферии области индентации и, конкретно, с компенсацией избыточного скупивания масс, создаваемого внедрением плитинденторов. В частности, с этим связывают происхождение Байкальского и Рейнского рифтов [56]. В рассматриваемой Периаравийской области коллизионное растяжение проявилось в Южном Каспии, но можно полагать, что к северу оно продлилось (в затухающем виде) в возникновении упомянутых пологих депрессий. В районе средней Волги и Вятско-Камского региона растяжение подтвердилось нашими данными [22, 26, 29]; 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 часто разворачивается к меридиану.

В северо-западном домене проявилось и сжатие, но оно слабо выражено на поверхности: здесь неизвестны надвиги фундамента, а встречающиеся надвиги чехла и зоны брекчирования – бескорневые (Карлинские дислокации). Кроме малой амплитуды, структуры сжатия не выдержаны по простиранию: здесь перекрещиваются валы субширотного и субмеридионального направлений, а некоторые из них имеют квадратные очертания. При этом мезоструктурные наблюдения показывают, что разноориентированные валы образовались при поперечном к ним сжатию [28]. Все это – черты рассеяния сжимающих стрессов на фоне их общего снижения. Выделяется также группа валов и надвигов промежуточной СВ ориентировки, возможно, связанной с геометрическим сложением меридионального и широтного векторов давления (рис. 5).

Наклон осей деформации к горизонту – последний из рассматриваемых параметров, как оказалось, хорошо коррелирующийся с особенностями региональной структуры и рельефа (см. рис. 1, 7). Особенно это относится к осям растяжения, погружающимся вместе с тектоническим и топографическим рельефом. Так, в Мугоджарах и на Южном Урале они падают к югу – согласно с ныряющим шарниром Уральского новейшего орогена; около же Прикаспийской и Московской синеклиз эти оси погружаются к ним. Иными словами, удлинение растягиваемого материала наклонено (и направлено) в сторону соседних впадин. Здесь уместна аналогия со сдвиговой тектоникой, где движение блоков ускоряется к ближайшим “геодинамическим убежищам” [21] – участкам снижения сжатия и/или возрастания градиента силы тяжести. В нашей платформенной области это проявляется в том, что из двух сопряженных систем новейших сдвигов разной кинематики (левых или правых) реализуется та, смещение по которой приближает движущиеся блоки к соседней синеклизе (рис. 6) – Прикаспийской (левые сдвиги Саратовских и Жигулевских дислокаций, правые – Южного Урала), Мезенской (левые сдвиги Среднего Урала), либо Московской (правые сдвиги Вятских дислокаций). Наклон осей сжатия не столь выдержан, но отметим, что в южном домене, при меридиональном сжатию, преобладает северный наклон, согласный с поддвигом аравийской и кавказской литосферы. В более частной ситуации эти оси конформны с падением крутых крыльев валов или, около надвигов, с направлением надвигания.

ЧЕТВЕРТИЧНОЕ ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПО МОРФОСТРУКТУРНЫМ ДАННЫМ

В рисунке гидросети, приобретшем свой облик в квартере [8, 43, 46, 49 и мн. др.], и во взаимном расположении крупных водораздельных поднятий

присутствуют черты, позволяющие прогнозировать кинематику тектонических перемещений. Несмотря на провизорность такого подхода, заключающуюся в том, что здесь, за неимением данных о каких-либо смещениях геоморфологических объектов (во всяком случае, в мелкомасштабных исходных материалах топокарт) и использования вместо этого особенностей морфоструктурного рисунка, они важны для сопоставления с другими, более точными и информативными – макрои мезоструктурными. При этом 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 анализируемых нами соответствующих черт рельефа вкратце перечислим главные: (1) системы кулисных отрезков долин, указывающие на сдвиг в направлении, согласном знаку кулис (“по шерсти”); (2) иногда кулисные зоны сопровождаются расширениями долин типа pull-apart, указывающими на обстановку транстензии (сдвига с растяжением); (3) одиночные или, надежнее, ритмично повторяющиеся широкие участки субпараллельных долин, часто – зигзагообразного вида в плане, характерного для трещин отрыва, и трого- или корытообразного профиля; (4) идеально дугообразные в плане, вписываемые в окружность (но не превышающие трети периметра [26]) и резко выраженные в профиле длинные (десяtkи км) уступы с вогнутостью, обращенной к долине; они осложняют высокие берега Камы и особенно Волги, где соседние циркообразные излучины буквально наступают одна на другую. Такие дугообразные уступы, по своим размерам и форме напоминающие асимметричные полуграбены в рифтах, ассоциируют с независимо установленным тектоническим растяжением поперек реки [26, 32]; (5) напротив, высокие берега, формировавшиеся при поперечном сжатии (например, Дона и Сев. Донца – в их средних течениях) часто выгибаются не от долины, а по направлению к ней, либо прямолинейны или синусоидальны в плане.

Приемы соответствующего анализа четвертичных напряжений подробно иллюстрированы нами для ряда участков [22, 26, 32], здесь же мы впервые представляем единую для всей рассматриваемой территории карту (рис. 7), которая может сравниваться с результатами применения других методов картографирования напряжений (см. рис. 1). Ее подробный анализ выходит за рамки статьи, и мы ограничимся лишь основными результатами сравнения.

Необходимо отчетливо представлять, что использование рассмотренных признаков для диагностики и картографирования новейших напряжений по рельефу никоим образом не является попыткой какой-либо ревизии геологической карты или даже карты возможных зон трещиноватости. В чем заключается смысл линий, изображенных на рис. 7? Это не прямолинейные линейные элементы, образующие закономерно ориентированные по отношению к странам света системы (“регматическую сеть”). По ряду геометрических признаков рассматриваемые элементы гидросети действительно напоминают линии разрывов, но подтвержденные съемкой столь протяженные разрывы здесь практически не представлены (хотя некоторые, но не все, известные разрывы вроде Жигулевского в рельефе очень 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, при этом одновременно приобретая форму дизъюнктивов, и тогда что же – все пронизано крупными зонами трещиноватости, а расстояния между ними снижаются до нуля? Учитывая все эти обстоятельства, в одной из предыдущих работ [22] высказано предположение, что форма долины в плане определяется ориентацией законсервированных в породах тектонических напряжений того или иного знака, а при приближении к участку породы свободной поверхности, будь то поверхности выветривания или эрозии, эти напряжения релаксируются, создавая специфические трещины. Последние имеют и свое название в литературе – “трещины разгрузки”, или “трещины разгрузки напряжений” (“release joints”). Иными словами, боковая эрозия реки идет сама по себе, но моделировка формы и направления крутого берега, сложенного коренными породами, происходит в связи с ориентировкой и знаком преобладающей в строении данного породного массива системы расконсервированных тектонических трещин определенного знака.

В таком аспекте рисунок рассматриваемых 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 касательных 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. 7 линии – это выраженные в рельефе (и наверняка сильно аппроксимированные при этом) горизонтальные проекции траекторий касательных напряжений. Данное предположение методически важно, так как если

оно подтвердится, это предоставит возможность более широкой апробации и использования рассматриваемого подхода картографирования четвертичных напряжений.

Сравним теперь результаты динамического анализа рельефа с результатами применения других методов картографирования напряжений (см. рис. 1).

Прежде всего, подтверждается участие горизонтальной компоненты напряжений. Однако подчеркнута выглядит уже сдвиговый режим — очевидно, в связи со спецификой метода, основанного на анализе черт, выраженных в плане. Далее, подтверждается участие двух конкурирующих полей напряжений (с субмеридиональным и субширотным сжатием — “кавказского” и “уральского”), но ареалы их действия и значимость подверглись “корректировке”. Если по макроструктуре область Вятских дислокаций принадлежит сфере влияния новейшего Урала, то по морфоструктуре, на нее наложилось субмеридиональное “кавказское” сжатие. Область же “уральского” сжатия сократилась до территории собственно Урала—Мугоджар, с захватом близкого Приуралья. Возможно, подобная эскалация субмеридионального сжатия в квартере отражает более позднюю (конец раннего миоцена) “жесткую” коллизию Евразийской плиты с Аравией по сравнению с таковой — с Индией (олигоцен). Обновленная (четвертичная) граница ареалов влияния двух источников напряжений выглядит в виде Вятско-Бугульминского линеймента СЗ простирается с устойчивым проявлением вдоль него правого сдвига, но с растяжением на СЗ и сжатием — на ЮВ. При этом 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 — рр. Камы и Урала), очевидно, выражает обстановку недостатка пространства между ороклинами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Основной результат исследований — картографическая реконструкция новейшего поля напряжений/деформаций платформенной территории востока Русской плиты и Южного Урала, выполненная на основе компьютеризированного структурно-кинематического метода. В качестве исходного материала использовался длительно собиравшийся массив замеров мезоструктурных кинематических маркеров. 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 новейших напряжений (в оригинале она сопровождается серией карт отдельных параметров напряженного состояния) составлена впервые для крупной платформенной территории (см. рис. 1). Комплект этих материалов сам по себе — новый информационный документ, который может анализироваться специалистами разного профиля и теоретических взглядов. И все же попробуем выделить наиболее важные, по нашему мнению, выводы регионального, теоретического и методического плана:

(1) Пространственные вариации реконструированного поля напряжений отражают давление на платформенную литосферу рассматриваемого региона соседних неотектонически активных орогенных структур: на юге — Кавказа и Копетдага (оба — Периаравийской коллизионной области) и на востоке — Урала (предположительно находящегося 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 стресс-режима в сторону повышения сжатия. Участок между этими областями демонстрирует примеры интерференции и рассеяния разных направлений сжатия, а также, в целом, его ослабление и замещение растяжением. По геологическим данным, “уральские” структуры субширотного сжатия формируются с олигоцена, а “кавказские” (субмеридионального сжатия) — с конца раннего миоцена. По данным же анализа рисунка гидросети, в квартере области меридионального сжатия 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 компенсационно 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.

(5) Результаты, полученные при параллельном использовании данных разного масштаба и типа — макро- и мезоструктурных наблюдений, а также

обработанные разными способами статистического анализа (при лидирующем использовании компьютера) принципиально не противоречат, но зато дополняют друг друга. Применяемые в комплексе, они могут эффективно использоваться для изучения новейшего напряженного состояния платформенных территорий.

Помимо этих главных выводов регионального, теоретического и методического плана, имеются и некоторые результаты прикладного характера. В частности, удалось уточнить кинематику известных разрывов. Оказалось, например, что почти все взбросо-надвиги имеют сдвиговую компоненту, которая сразу улавливается по диагональной к линии разрыва ориентации осей нормальных напряжений. Так, для Жигулевского взброса установлена существенная левосдвиговая компонента, а для разрывов Донбасса (Северодонецкого и Персиановского) – правосдвиговая, Новокиевский разрыв Южного Урала – левый сдвиг-взброс. Неоднократно смещен сдвигами разного знака Мугуджарский взброс. Во всех этих случаях сдвиг подтверждается не только мезотектоническими данными, но и чертами структурного рисунка зон разрывов [22–24, 30, 35]. 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 Вятских землетрясений с данными об ориентации напряжений показало [36] (рис. 8), что линейно вытянутые эпицентральные зоны тяготеют к сдвигам, преимущественно правым, ВСВ простираются, а также к поперечным по отношению к Вятским дислокациям линеаментам ЗСЗ простираются (таковы долины рр. Чепцы и Быстрицы), которые в поле деформаций с ЗСЗ укорочением должны развиваться при растяжении. Хуже всего выражены в сейсмичности структуры сжатия ССВ простираются – складки-валы и почти продольные к ним левые взбросо-сдвиги. Повышенная приуроченность эпицентров к линиям сдвигов ранее была показана и для Воронежского массива [33].

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 ГДП-200, где в пакет материалов входят карты новейшей тектоники и геоэкологии. Мы полагаем, что исследования параметров новейшего напряженного состояния были бы полезны в данном аспекте.

Благодарности. Исследование выполнялось при поддержке Программы № 6 ОНЗ РАН. В сборе полевого материала участвовали Е.Ю. Егоров,

М.Е. Борисов и А.В. Кудашев. По вопросам неотектоники, сейсмичности, глубинного строения и методики анализа поля напряжений мы консультировались с В.И. Макаровым, Н.В. Макаровой, А.А. Никоновым, Л.А. Сим и Ю.К. Щукиным. Особо хотелось бы поблагодарить безвременно ушедшего от нас О.И. Гущенко, создавшего компьютерную версию поля напряжений/деформаций южной части рассматриваемой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валеев Р.Н.* Тектоника и минерагения рифея и фанерозоя Восточно-Европейской платформы. М.: Недра, 1981. 215 с.
2. *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.
3. *Васильев Н.Ю., Мострюков А.О.* Закономерности развития циклов деформации в процессах тектогенеза // Тектоника неогена: общие и региональные аспекты. Т. I. М.: ГЕОС, 2001. С. 90–93.
4. *Вержбицкий В.Е., Конн М.Л.* Новейшее поле деформаций Южного Зауралья // Докл. РАН. 2005. Т. 405. № 2. С. 224–228.
5. *Вировлянский Г.М.* Закономерности формирования структуры рудных полей некоторых типов гидротермальных месторождений // Проблемы генезиса руд. М.: Недра, 1964. С. 45–57.
6. *Высоцкий К.А., Калинин А.Т.* Структурно-тектонические предпосылки выявления нефтегазоносных районов // Разведка и охрана недр. 2000. № 10. С. 23–27.
7. *Гзовский М.В.* Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория. Ч. III и IV. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 544 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации, м-б 1 : 1 000 000 (нов. серия). Лист О-(38), 39 – Киров. Объяснительная записка / Гл. ред. Кириков В.П. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 331 с.
9. Государственная геологическая карта СССР, масштаб 1 : 1 000 000, лист L-(38), 39. Объяснительная записка / Ред. Нестерова Н.И., Сайфутдинов Н.П. Л.: Недра, 1988.
10. *Гущенко О.И.* Анализ ориентировок сколовых тектонических смещений и их тектонофизическая интерпретация при реконструкции палеонапряжений // ДАН СССР. 1973. Т. 210. № 2. С. 331–334.
11. *Гущенко О.И.* Определение тектонических полей напряжений методом кинематического анализа структур разрушения (в связи с прогнозом сейсмической опасности) / Природа и методол. опред. тектон. напряж. в верх. части земн. коры. Мат-лы Всес. школы-семинара, Апатиты, 20–22 мая, 1980 г. // Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1982. С. 35–52.
12. *Гущенко О.И.* Сейсмотектонический стресс-мониторинг литосферы: структурно-кинематический принцип и основные элементы алгоритма // Докл. РАН. 1996. Т. 346. № 3. С. 399–402.
13. *Гущенко О.И.* Кинематический принцип относительной хронологии палеонапряжений (основной алгоритм тектонического стресс-мониторинга ли-

- тосферы) // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М.: Наука, 1999. С. 108–125. (Тр. ГИН РАН; Вып. 515).
14. *Гущенко О.И., Мострюков А.О., Гущенко Н.Ю., Сергеев А.А.* Палеонапряжения центральных районов Русской плиты (по геологическим и геоморфологическим данным) // Докл. РАН. 1999. Т. 368. № 2. С. 230–235.
 15. *Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т.* Структурная геология юго-востока Восточно-Европейской платформы. Уфа: Гилем, 2001. 234 с.
 16. *Казьмин Л.Л., Горелов А.А., Чирук Г.Н.* Количественная оценка соответствия структурных планов локальных поднятий Куйбышевской области // Нефтегазовая геология и геофизика. 1983. Вып. 1. С. 4–6.
 17. *Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т.* Происхождение нефтегазоносных платформенных структур. Уфа: Ин-т геологии Башкирского филиала АН СССР, 1979. 64 с.
 18. *Кноринг Л.Д.* Математические методы при изучении механизма образования тектонической трещиноватости. Л.: Недра, 1969. 87 с.
 19. *Колесниченко А.А.* Кинематика и новейшее развитие Суксунско-Красноуфимского разрыва (Центральное Приуралье) по мезоструктурным данным // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2010. Т. 85. Вып. 6. С. 14–19.
 20. *Колодяжный С.Ю.* Структурно-кинематические парагенезы в осадках фанерозойского чехла Среднерусской зоны дислокаций // Геотектоника. 2010. № 2. С. 56–76.
 21. *Копп М.Л.* Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе // М.: Научный Мир, 1997. 314 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 506).
 22. *Копп М.Л.* Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2004. 340 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 552).
 23. *Копп М.Л.* Новейшая деформация Южного Урала и Мугоджар и ее вероятное происхождение // Геотектоника. 2005. № 5. С. 36–61.
 24. *Копп М.Л.* Лозьвинские дислокации Северного Зауралья как результат неотектонического поддвига коры Западно-Сибирской платформы под Урал // Докл. РАН. Т. 417. 2007. № 6. С. 1020–1023.
 25. *Копп М.Л.* Коллизионная структура Кавказского региона // Большой Кавказ в альпийскую эпоху / Ред. Леонов Ю.Г. М.: ГЕОС, 2007. С. 285–314.
 26. *Копп М.Л.* Денудационные уступы как индикатор региональных неотектонических напряжений // Геотектоника. 2011. № 5. С. 71–90.
 27. *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. Мат-лы между. конференции, посвященной памяти В.Е. Хаина, г. Москва, 1–4 февраля 2011 г. // М.: Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011. Электронная версия. С. 918–923.
 28. *Копп М.Л.* Наложение разноориентированных кайнозойских напряжений в центре Русской плиты / Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриплитных орогенов. Мат-лы 5-го Межд. симпозиума. г. Бишкек, 19–24 июня. Т. 2 // Бишкек: Научная станция РАН, 2011. С. 37–41.
 29. *Копп М.Л.* Вятские дислокации: динамика формирования и выражение в новейшей структуре // Геотектоника. 2012. № 6. С. 55–77.
 30. *Копп М.Л., Тверитинова Т.Ю.* Кинематика Жигулевского новейшего разлома // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1999. Т. 74. Вып. 5. С. 18–29.
 31. *Копп М.Л., Тверитинова Т.Ю.* О происхождении Доно-Медведицких дислокаций // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2001. Т. 76. Вып. 3. С. 19–30.
 32. *Копп М.Л., Иоффе А.И., Егоров Е.Ю. и др.* 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. М.: ГЕОС, 2000. № 5. С. 123–179.
 33. *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.
 34. *Копп М.Л., Вержбицкий В.А., Колесниченко А.А.* Новейшая динамика и вероятное происхождение Тулвинской возвышенности Пермского Приуралья // Геотектоника. 2008. № 6. С. 45–69.
 35. *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.
 36. *Копп М.Л., Никонов А.А., Колесниченко А.А.* Структура, геодинамика и сейсмичность района Вятских дислокаций (Казанско-Кажимский авлакоген северо-востока ВЕП) / Геологическая среда, минерогенетические и сеймотектонические процессы. Мат-лы XVIII междунар. конф., 24–29 сентября 2012 г. // Воронеж: Научная книга, 2012. С. 153–157.
 37. *Короновский Н.В., Демина Л.И.* Коллизионный этап развития Кавказского сектора Альпийского складчатого пояса: геодинамика и магматизм // Геотектоника. 1999. № 2. С. 17–36.
 38. *Корчемагин В.А., Емец В.С.* Особенности развития тектонической структуры и поля напряжений Донбасса и Восточного Приазовья // Геотектоника. 1987. № 3. С. 49–55.
 39. *Леонов Ю.Г.* Напряжения в литосфере и внутриплитная тектоника // Геотектоника. 1995. № 6. С. 3–21.
 40. *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 // Геотектоника. 2001. № 1. С. 36–59.
 41. *Лёвин Ф.Д., Фомин В.И.* Происхождение современных Уральских гор (на примере Среднего и Южного Урала) // Отечественная геология. 2001. № 3. С. 31–40.
 42. *Лидер В.А.* Геология Северососьвинского бурогольного бассейна // Мат-лы по геологии и полезным ископаемым Урала. Вып. 11. М.: Недра, 1964. 146 с.
 43. *Макаров В.И.* Региональные особенности новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их сейсмической активности // Недра Поволжья и Прикаспия. 1996. № 3. С. 53–60.

44. *Машкович Х.А., Шорников Б.Я., Шебалдина М.Г.* О строении Елшанско-Сергиевского вала // Геология нефти и газа. 1970. № 5. С. 42–46.
45. *Милановский Е.Е.* Рифтогенез в истории Земли (рифтогенез на древних платформах). М.: Недра, 1983. 280 с.
46. *Макаров В.И., Макарова Н.В., Несмеянов С.А. и др.* Новейшая тектоника и геодинамика: область сочленения Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты / Отв. ред. Шукин Ю.К. М.: Наука, 2006. 206 с.
47. *Парфенов В.Д.* К методике тектонофизического анализа геологических структур // Геотектоника. 1984. № 1. С. 60–72.
48. *Попов В.С.* Тектоника. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Ч. 1. Донецкий бассейн. М.: Госгеолтехиздат, 1963. С. 103–151.
49. *Сетунская Л.Е., Чулпенкова 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.
50. *Сим Л.А.* Неотектонические поля напряжений Восточно-Европейской плиты и соседних структур. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1996. 41 с.
51. *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.
52. *Тевелев Арк.В.* Альпийская тектоника Южного Урала // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы. Т. II. Мат-лы XXXVI тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2003. С. 230–234.
53. *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 // C.R. Acad. Sci. 1999. Vol. 329. Ser. IIa. P. 49–57.
54. *Sim L.A., Korč emagin V.A., Frischbutter A., Bankwitz P.* The neotectonic stress field pattern of the East European platform // Z. Geol. Wiss. 1999. Bd. 27. № 3/4. P. 161–181.
55. *Sobornov K.* Structural evolution of the Karpinskiy swell, Russia // C.R. Acad. Sci. 1995. Vol. 321. Ser. II. P. 161–169.
56. *Tapponnier P., Molnar P.* Slip-line field theory and large-scale continental tectonics // Nature. 1976. Vol. 264. № 5584. P. 319–324.

Recent Stress Field in the East of the Russian Plate and the Urals from Macro- and Mesostructural Evidence

M. L. Kopp^a, V. E Verzhbitsky^b, A. A. Kolesnichenko^a, T. Yu. Tveritinova^c, N. Yu. Vasil'ev^c, V. A. Korchemagin^d, A. O. Mostryukov^e, and A. I. Ioffe^a

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

^b Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Nakhimovskiy pr. 36, Moscow, 117581 Russia

^c Russian State Geological Prospecting University, ul. Miklukho-Maklaya 23, Moscow, 117873 Russia

^d Donetsk National Technical University, ul. Artema 58, Donetsk, 83001 Ukraine

^e Shmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Bol'shaya Gruzinskaya ul. 10, Moscow, 123995 Russia

e-mail: mlkopp@mail.ru

Received September 2, 2013

Abstract—This paper presents the first cartographic reconstruction of the recent stress field for the southeastern Russian Plate and the southern 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 shear-stress regime) and even gave way to extension above growing caps of thrust faults and crests of swells; in plan view, compression (including in the shear-stress regime) increased at basement uplifts; on the contrary, extension increased near synclines, as well as lateral squeezing directed here along shears; (3) reconstructions based on data variable in scale and type (results of macro- and mesostructural 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 within-plate earthquakes relate to faults and flexures of a certain kinematics. In general, they indicate that tectonodynamic analysis is promising for solving regional tectonic problems.

Keywords: within-plate dislocations, morphostructure, neotectonics, stress field, Russian Plate, the Urals