

СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЕ БУРЕЙНСКОГО МАССИВА*Т.В. Меркулова, Г.З. Гильманова**ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: merkulova@itig.as.khb.ru*

Поступила в редакцию 10 марта 2024 г.

По анализу рельефа и геофизических полей установлено, что сейсмически активная зона юго-восточной окраины Буреинского массива приурочена к кольцевой структуре, где выявлены признаки сдвиговых деформаций: смещения субмеридиональных структур северо-восточными, наклонный срыв мантийного заложения. Сдвиговые смещения инициировались, согласно анализу гравитационного поля, неоднородностями СВ и СЗ направления. Аномалии выделившейся сейсмической энергии имеют также северо-восточное и северо-западное направления, но интенсивность и размеры первого направления значительно больше. Наиболее сильные сейсмические очаги с $M \geq 5$ приурочены к глубинным СВ аномалиям гравитационного поля повышенной интенсивности, что позволяет утверждать, что процесс активизации северо-восточных структур в этой сейсмоактивной зоне является основным. Область скопления очагов $5 > M \geq 4$ на дневной поверхности приурочена к узкой впадине, сформировавшейся над окончанием глубинной аномалии повышенной интенсивности северо-западной ориентировки, которая имеет тенденцию к горизонтальному выжиманию. В близповерхностных горизонтах по анализу гравитационного поля в этом месте фиксируется смещение субмеридиональных аномалий структурами СВ ориентировки с образованием сдвига-раздвига. Таким образом, область повышенной сейсмической активности представляет тектонический узел, где совмещаются структуры СВ и СЗ направлений, которые инициируют вращательные и сдвиговые деформации, что, вероятно, отражает совместное влияние коллизии Индийской и Евразийской плит и Тихоокеанской зоны субдукции на внутриплитные процессы.

Ключевые слова: сейсмоактивная зона, аномалии гравитационного поля, линеаменты рельефа, кольцевая структура, сдвиговые зоны, Буреинский массив.

ВВЕДЕНИЕ

Закономерности в местоположении эпицентров сильных землетрясений и их скопления внутри тектонических плит до сих пор не выявлены. Часто рассматривается связь сейсмоактивных зон со структурно-тектоническими особенностями строения как концентраторами напряжений, передающихся от активных границ плит. К таким особенностям относятся ослабленные зоны в земной коре (древние разломы), плотностные неоднородности, характер рельефа подошвы литосферы [11, 20, 33]. В одних регионах скопления сейсмических событий контролируются комплексами пород с пониженной плотностью [41]. Однако описаны примеры участия в сейсмичности пород с высокой плотностью [20]. Иногда выявляется тенденция к локализации очагов в областях резкого изменения мощности земной коры, где на дневной поверхности развиты древние разломы, концентри-

рующие напряжения, благоприятные для возникновения землетрясений [46]. В отдельных случаях сильные сейсмические события приурочены к присдвиговыми впадинам (pull-apart), как составному элементу крупных сдвиговых систем внутриплитных областей [11, 29]. Показано, что для сильных внутриплитных землетрясений предпочтительна модель локализованного простого сдвига [50].

По мнению ряда исследователей, положение зон повышенной сейсмичности во внутриплитных условиях невозможно связывать с каким-то одним геологическим или геофизическим фактором или признаком: не обнаруживается универсальной связи с глубинным строением, геофизическими полями или особенностями рельефа. В такой роли может выступить только некоторое сочетание факторов, а не отдельная характеристика. Это определенное сочетание факторов подходит только для конкретной обстановки [9, 23].

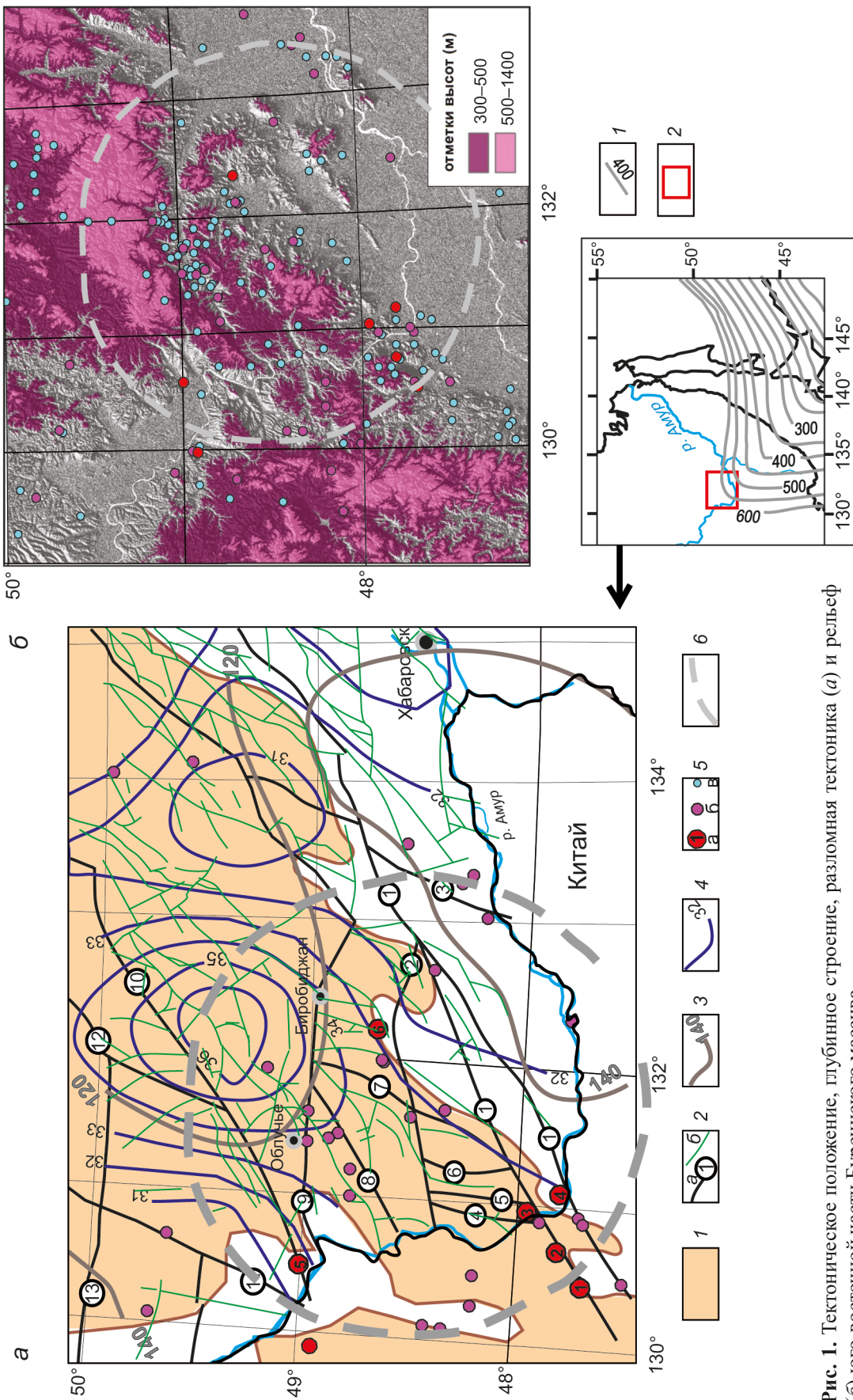


Рис. 1. Тектоническое положение, глубинное строение, разломная тектоника (а) и рельеф (б) юго-восточной части Буреинского массива.

1 – выходы пород Буреинского массива на поверхность; 2 – разломы: региональные (а) и прочие (б), по [16]; 3 – изолинии мощности литосферы (км), по [38]; 4 – изолинии мощности земной коры (км), по [49]; 5 – землетрясения: $M \geq 5$ (а); $5 > M \geq 4$ (б); $4 > M \geq 3$ (в); 6 – границы кольцевой структуры. Разломы (цифры в кружках): 1 – Игун-Илан; 2 – Помпеевский; 3 – Уликанский; 4 – Березовский; 5 – Самарский; 6 – Лепопомпеевский; 7 – Дитурский; 8 – Чанчунь; 9 – Бирский; 10 – Амгуньский; 11 – Мельгинский; 12 – Хинганский; 13 – Завитинский.

На врезке: 1 – изолинии глубины Тихоокеанской зоны субдукции (км), по [51]; 2 – район работ.

Во внутриплитных условиях Приамурья одна из наиболее сейсмически активных зон, где происходят землетрясения с $M \geq 5$, расположена на юго-восточной окраине Буреинского массива и частично захватывает грабеновые структуры Среднеамурского осадочного бассейна (рис. 1, а). Регион находится под воздействием процессов коллизии Индийской и Евразийской плит, что вызывает активизацию структур северо-восточного направления. На геодинамику региона также оказывает влияние встречное сжатие, связанное с субдукцией Тихоокеанской плиты, вектор движения которой имеет СЗ направление [38]. В области района работ клинообразный выступ Тихоокеанской зоны субдукции погружается под Амурскую плиту до глубины более 600 км [51] (рис. 1 а, б). В работе изучены особенности рельефа дневной поверхности и глубинного строения по геофизическим данным с целью понимания структур, к которым приурочены сильные землетрясения и их скопления. Особое внимание уделено положению сильных землетрясений по отношению к плотностным линейным аномалиям СВ и СЗ разного глубинного уровня, а также особенностям глубинного строения и рельефа дневной поверхности для исследования структурных особенностей района и оценки геодинамической обстановки, вызывающей повышенную сейсмичность.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Восточная часть Буреинского массива и фундамент прилегающего к нему Среднеамурского осадочного бассейна представлены комплексами Малохинганского и Урмийского террейнов докембрийского (?)–раннепалеозойского возраста. Малохинганский террейн рассматривается как фрагмент палеозойской окраинно-континентальной магматической дуги (рис. 2). Фундамент террейна выполняют древние образования, которые фрагментарно присутствуют среди преобладающих на площади разновозрастных гранитоидов и представлены толщами амурской серии архейского возраста: гнейсы, сланцы, мраморы, кварциты и амфиболиты (AR_2am). По другому мнению, формирование этих метаморфических толщ произошло в неопротерозое или раннем палеозое, а наложенные на них структурно-метаморфические преобразования связаны с палеозойским и раннемезозойским этапами геологического развития [5, 28]. Древние метаморфические породы и ассоциирующие с ними магматические образования образуют протяженные линейные складки субмеридионального (СМ) простирания.

Более высокое стратиграфическое положение занимают толщи раннепалеозойского возраста: графитовые сланцы, кварциты, мрамор и терригенно-карбонатные породы ($C_1, O-S$) [5]. Предполагается, что комплекс представляет собой зону тектонического меланжа с офиолитами, маркирующего сутуру субмеридионального простирания [5].

Описанные толщи Малохинганского террейна прорваны гранитоидами раннепалеозойского биробиджанского (γO) и позднепалеозойского тырмо-буреинского (γP) комплексов. Биробиджанский комплекс представлен крупными массивами, вытянутыми в СМ или иногда СВ направлении [6, 7].

Урмийский террейн рассматривается как фрагмент палеозойско-раннемезозойской пассивной континентальной окраины, где присутствуют морские терригенные и терригенно-карбонатные отложения нижнего-среднего девона, раннепермские риолиты и туфы, ранне-позднепермские мелководные песчаники, алевролиты и конгломераты, ранне-среднетриасовые турбидиты [5].

Мезозойские комплексы в регионе представлены как осадочными, так и магматическими образованиями. Магматические породы этого возраста объединены в Хингано-Охотский вулcano-плутонического пояса, образующий обширную область СВ простирания. По современным данным, этот пояс интерпретируется как область ареального магматизма, возникшая в обстановке трансформной окраины [15, 42]. С режимом трансформной окраины связана инициализация формирования гранитоидов и вулcano-плутонических комплексов, становление которых произошло в два этапа [5]. Большинство вулканических центров риолитового (риолит-гранитного) магматизма вытянуты в северо-восточном направлении и приурочены к разломам этой ориентировки, тогда как центры андезитового магматизма контролируются субширотными разломами. Контроль магматической деятельности структурами, расположенными на пересечениях субширотных и северо-восточных разломов, свидетельствует о вероятном проявлении ее в условиях господствовавших в позднемеловое время сдвигов по разломам СВ направления.

МЕТОДИКА

Для анализа сейсмического процесса использован каталог ИТиГ ДВО РАН, где собраны данные о землетрясениях из опубликованных сборников «Землетрясения в СССР», «Землетрясения России», «Землетрясения Северной Евразии» [17–19]. В работе приведено положение наиболее сильных и достаточно сильных сейсмических событий и рассчитана суммарная сейсмическая энергия. Суммирование сейсмической энергии выполнено для событий с $M \geq 1$,

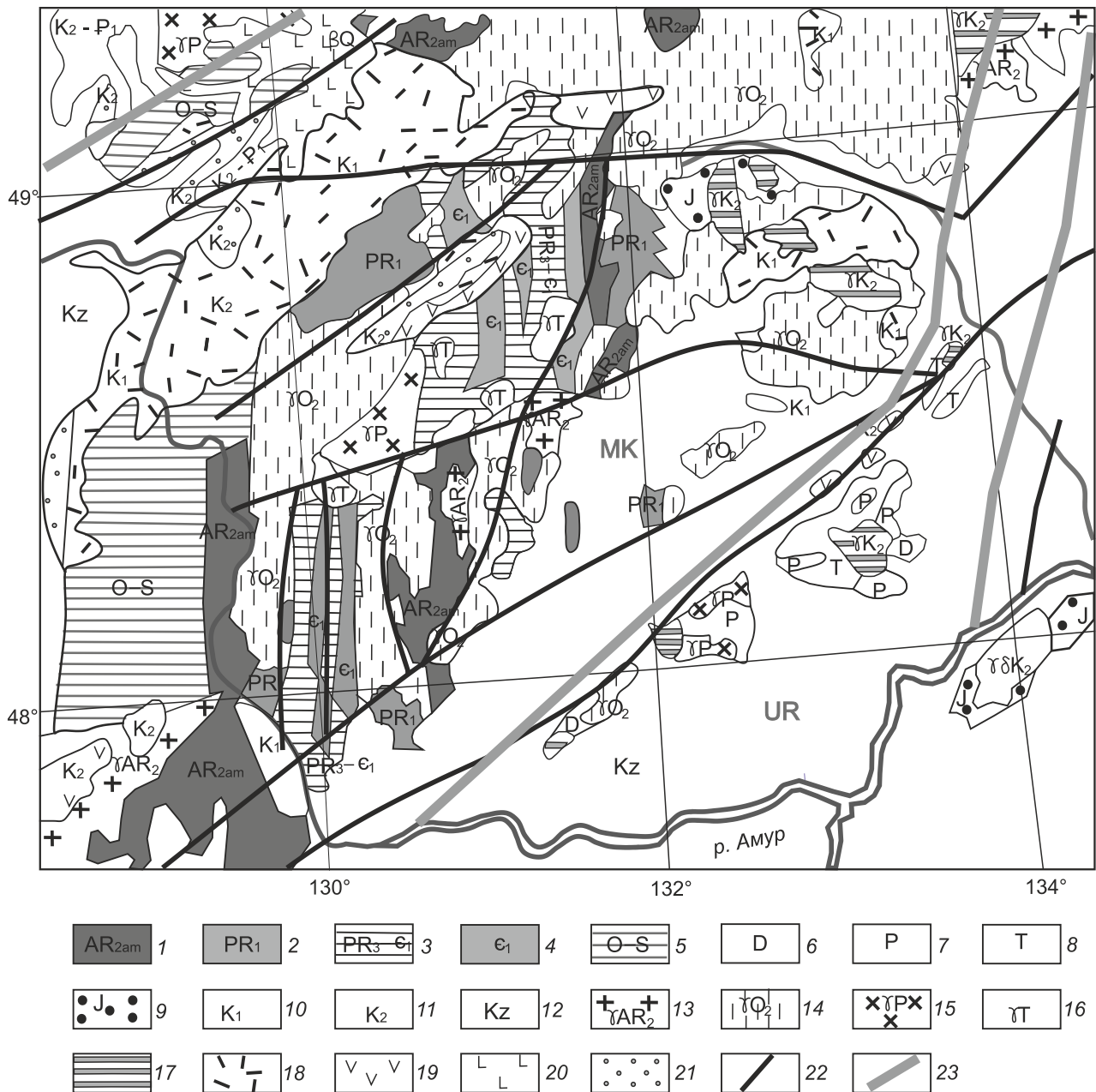


Рис. 2. Схема геологического строения, по [7].

Комплексы осадочно-метаморфических пород: 1 – верхнеархейские; 2 – нижнепротерозойские, нижний отдел; 3 – верхний протерозой ниже-кембрийские; 4 – ниже кембрийские; 5 – ордовико-силурийская; 6 – девонские; 7 – пермские, 8 – триасовые; 9 – юрские; 10 – ниже-меловые; 11 – верхнемеловые; 12 – кайнозойские. Гранитоиды: 13 – позднего архея; 14 – ордовика; 15 – перми; 16 – триаса; 17 – позднего мела. Вулканогенные образования: 18 – кислого состава; 19 – среднего состава; 20 – основного состава; 21 – докайнозойские континентальные отложения; 22 – региональные разломы по, [16]; 23 – границы террейнов, по [5]; МК – Малохинганский, UR – Урмийский.

в ячейке с размерами $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, используя формулу: $LgE = 4.8 + 1.5 M$, где E – сейсмическая энергия в Дж, M – магнитуда.

Анализ гравитационного поля выполнен с использованием программного комплекса КОСКАД-3Д, разработанного А.В. Петровым [34]. Данные грави-

тационного поля были подвержены разложению на составляющие с выделением региональной составляющей и локальных компонент разных порядков. Локальная компонента 1-го порядка демонстрирует распределение глубинных (нижняя кора–верхняя мантия) и более значительных по размерам плотностных

неоднородностей, по сравнению с локальной компонентой 2-го порядка.

Исходным материалом для анализа рельефа послужила цифровая модель рельефа (ЦМР), полученная по результатам радиолокационной космической съемки SRTM-03. Распространяемые данные SRTM03 имеют следующие характеристики: размер ячейки 3×3 арксекунды (примерно 90 м), проекция Lat/Lon на эллипсоиде WGS84 (World Geodetic System 1984) с исходной отметкой над уровнем моря, определяемой геоидом WGS84-EGM96 (Earth Gravitational Model). Статистический анализ элементов рельефа проводился с применением методики LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis), реализованной в программе WinLESSA [55]. На первом этапе выделяются элементарные линейные элементы (ЭЛЭ), с которыми далее проводится статистическая обработка с получением ряда характеристик, таких как: плотность ЭЛЭ, линии преобладающей вытянутости роз-диаграмм (далее просто линии вытянутости), их интегральная характеристика – глобальная роза – диаграмма, линеаменты. Выделяемые в процессе расчетов линеаменты как линейные элементы рельефа земной поверхности могут трассировать долины, хребты, границы блоков, отдельные тектонические нарушения разного ранга: от трещин до региональных зон разломов. При разном масштабе и детальности рассмотрения линеаменты, их скопления, отражают соответствующие масштабу структурные особенности. Плотность ЭЛЭ выступает показателем степени сложности рельефа, тектонической нарушенности поверхностных горизонтов земной коры. Линии вытянутости роза-диаграмм – одна из самых устойчивых статистических характеристик, которая отражает рисунок рельефа и основное направление структур. Выбор разного размера окна при расчетах плотности ЭЛЭ и линий вытянутости позволяет рассмотреть как общие контуры структур, так и особенности их внутреннего строения.

Более подробно методика анализа рельефа и геофизических полей описана нами в работе [31]. Все данные для дальнейшего совместного анализа были собраны в программном продукте ArcGis.

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧНОСТИ

В районе сейсмоактивной зоны произошло несколько землетрясений с $M \geq 5$. Три события приурочены к западной ветви разлома Итун-Илань, входящего в систему Тан-Лу. Эти землетрясения образуют линейную сейсмоактивную зону, согласную с СВ направлением разломов системы Тан-Лу. Еще одно землетрясение с $M \geq 5$ произошло на другой ветви разлома Итун-Илань, расположенной восточнее. Два

относительно сильных землетрясения с $M \geq 5$ наблюдались в зоне Амгунского разлома СВ ориентировки, одно из которых произошло на территории Приамурья, а другое в Китае. Землетрясение в центральной части района работ (номер 6) с $M \geq 5$ четко не приурочено к одному из региональных разломов, можно предполагать, что оно отмечалось в зоне Помпеевского разлома близширотного направления (рис. 1, а). Очаги сейсмических событий с $5 > M \geq 4$ рассеяны по всей площади, но в некоторых местах образуют скопления. Наиболее значимое скопление наблюдается по СВ разлому Чанчунь. Также отмечается серия землетрясений этого диапазона по разломам Итун-Илань и Уликанскому. Более слабые землетрясения с $4 > M \geq 3$ рассеяны по всей площади, но иногда значительное их количество локализуется вдоль разломов СВ направления. На карте суммарной выделившейся сейсмической энергии видно, что аномалии этого параметра линейно вытянуты в СВ и СЗ направлениях. При этом аномалии СВ направления имеют большие размеры и значительную интенсивность (рис. 3).

Большинство землетрясений с $M \geq 3$ отмечались на глубинах менее 20 км и только несколько землетрясений произошли в диапазоне от 20 до 30 км, а имеет глубину 50 км одно событие.

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ

Район работ расположен в области, где мощность литосферы изменяется от 120 до 140 км [40]. Мощность земной коры варьирует от максимальных значений 36 км, которые фиксируются в локальной зоне, расположенной на северном ограничении сейсмоактивной области (рис. 1, а). К югу и юго-западу мощность земной коры уменьшается до 32–33 км [49]. Измерения теплового потока, выполненные в единичных случаях, позволяют отнести его величину к умеренному уровню 38–50 мВт/м², что несколько ниже его величины на сопредельной территории Китая (50–60 мВт/м²), где повышенная геодинамическая активность подтверждается потухшими вулканами [10, 30].

Сведения о глубинном строении (до глубины 180 км) получены на основе регионального сейсмического разреза, который построен по данным МОБЗ на основе использования обменных волн (PSH) [4]. Обменные волны такого типа возникают в зонах повышенной скоростной анизотропии, которые формируются разломными зонами в жестких блоках. На разрезе видно (рис. 4, а), что западная часть профиля характеризуется повышенными значениями плотности распределения точек обмена (5–15) до глубины 120 км. Далее к востоку, области повышенной плотности распределения точек обмена имеют немного меньшую величину (5–10) и отмечаются только до

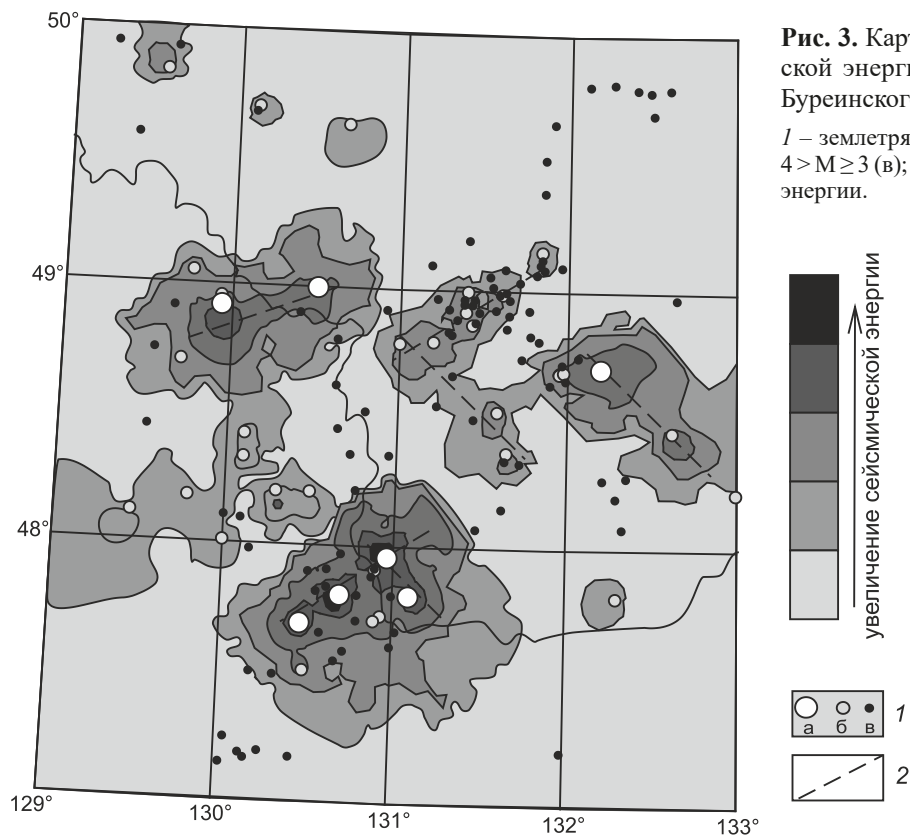


Рис. 3. Карта выделившейся сейсмической энергии юго-восточной окраины Буреинского массива.

1 – землетрясения $M \geq 5$ (а); $5 > M \geq 4$ (б); $4 > M \geq 3$ (в); 2 – оси аномалий сейсмической энергии.

глубины порядка 60 км (рис. 4, а). Детальный разрез, по данным МОВЗ, до глубины 80 км составлен на основе совместного использования обменных волн типа PSV и кратно отраженных волн типа PPP. Использование волн таких типов позволяет разделять границы, на которых скорость с глубиной возрастает, и тех, где скорость уменьшается (инверсные скоростные границы), а также однозначно выделять низкоскоростные аномалии. На полученном разрезе МОВЗ наблюдается глубинная структура, с наклонным тектоническим срывом с восточным падением. Пологий тектонический срыв выражен инверсной сейсмической границей, которая начинает прослеживаться от западного борта, где наблюдается максимальная сейсмическая активность, к востоку, погружаясь на глубину 40 км и более (рис. 4, б). Подобная модель развития структур над тектоническим срывом представлена на рис. 4, в.

По результатам разложения гравитационного поля видно, что в структуре наиболее глубинного регионального уровня сейсмоактивная область расположена в зоне перехода от отрицательных значений поля силы тяжести до положительных ее значений. Изолинии региональной составляющей вытянуты в основном в СВ направлении, которое осложнено изгибом «дуговой» формы (рис. 5, а). Распределение локальных аномалий 1-го порядка, содержит информацию о менее глубинных горизонтах по сравнению

с региональной компонентой, но отражают еще достаточно глубинное распределение плотностных неоднородностей, которые имеют СВ, СЗ и СМ направление (рис. 5, б). Аномалии СВ простирания преобладают на площади и представлены серией образований разной интенсивности. Крупная аномалия повышенной интенсивности сложной формы с СЗ удлинением отмечается в центральной части. Эта аномалия окружена серией структур пониженной интенсивности разного направления. Аномалии СМ направления проявлены в крайних западной и восточной частях района работ (рис. 5, б). Локальные аномалии гравитационного поля 2-го порядка, характеризуют распределение плотностных неоднородностей относительно близповерхностного уровня земной коры. Для этого уровня характерны мелкие неоднородности разной ориентировки, с преобладанием СВ направления (рис. 5, в).

АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА

На цифровой модели рельефа можно выделить кольцевую структуру сложного строения (рис. 1, б). Северное ограничение этой структуры захватывает часть Буреинского массива, где наблюдаются горные возвышенности с отметками высот порядка 500 м и более. Южная часть вовлечена в погружение и представлена системой грабенов Среднеамурского бассейна преимущественно север-восточной ориентировки.

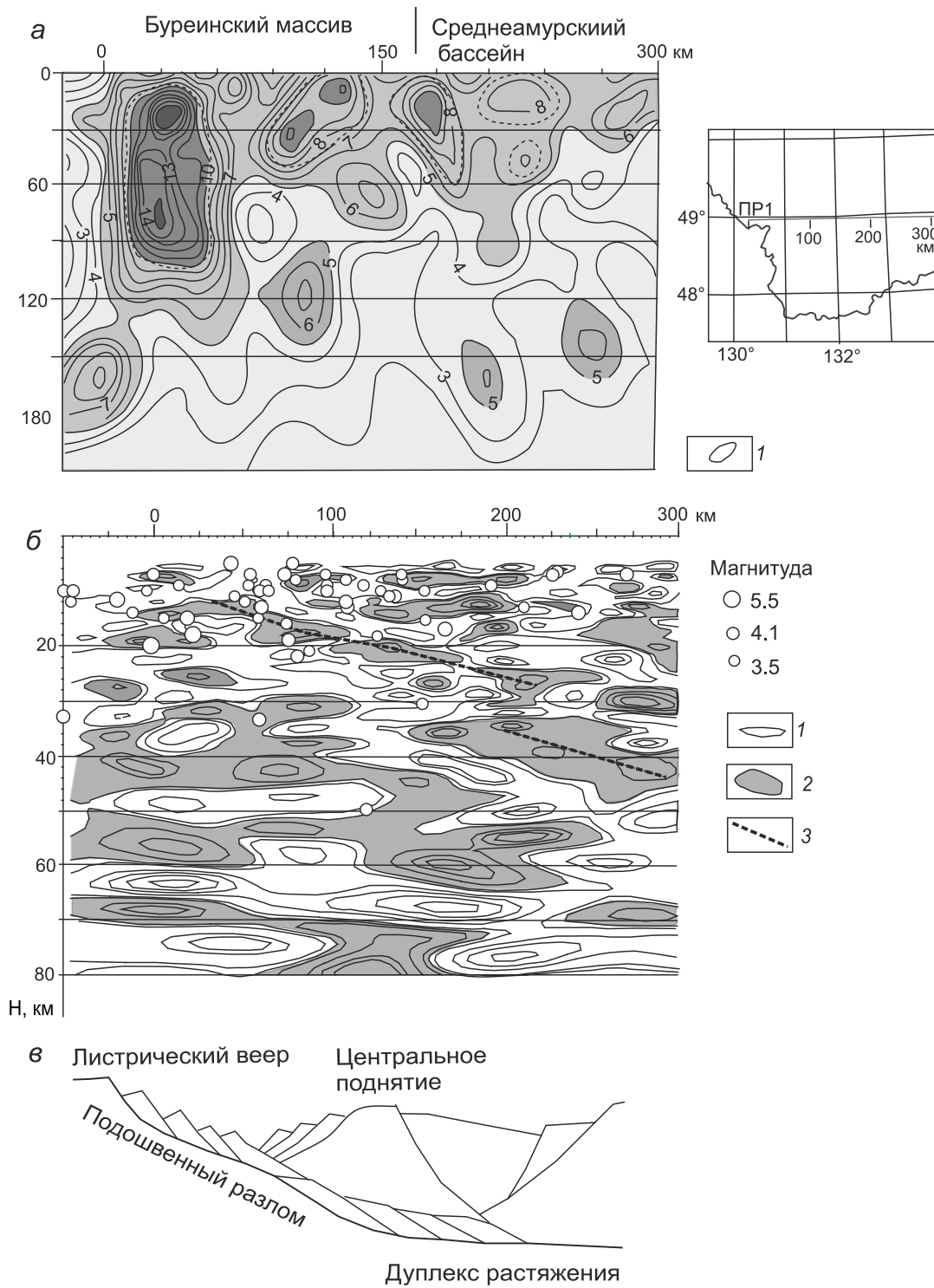


Рис. 4. Глубинное строение по профилю 1.

a – региональный профиль по данным МОВЗ;

1 – изолинии плотности распределения точек обмена (PSH);

б – детальный профиль по данным МОВЗ;

1 – изолинии суммарной плотности распределения точек обмена (PSV) и отражения (PPP), *2* – области пониженных скоростей;

3 – наклонный срыв;

в – модель развития над наклонным срывом дуплекса растяжения и листрического веера, по [52].

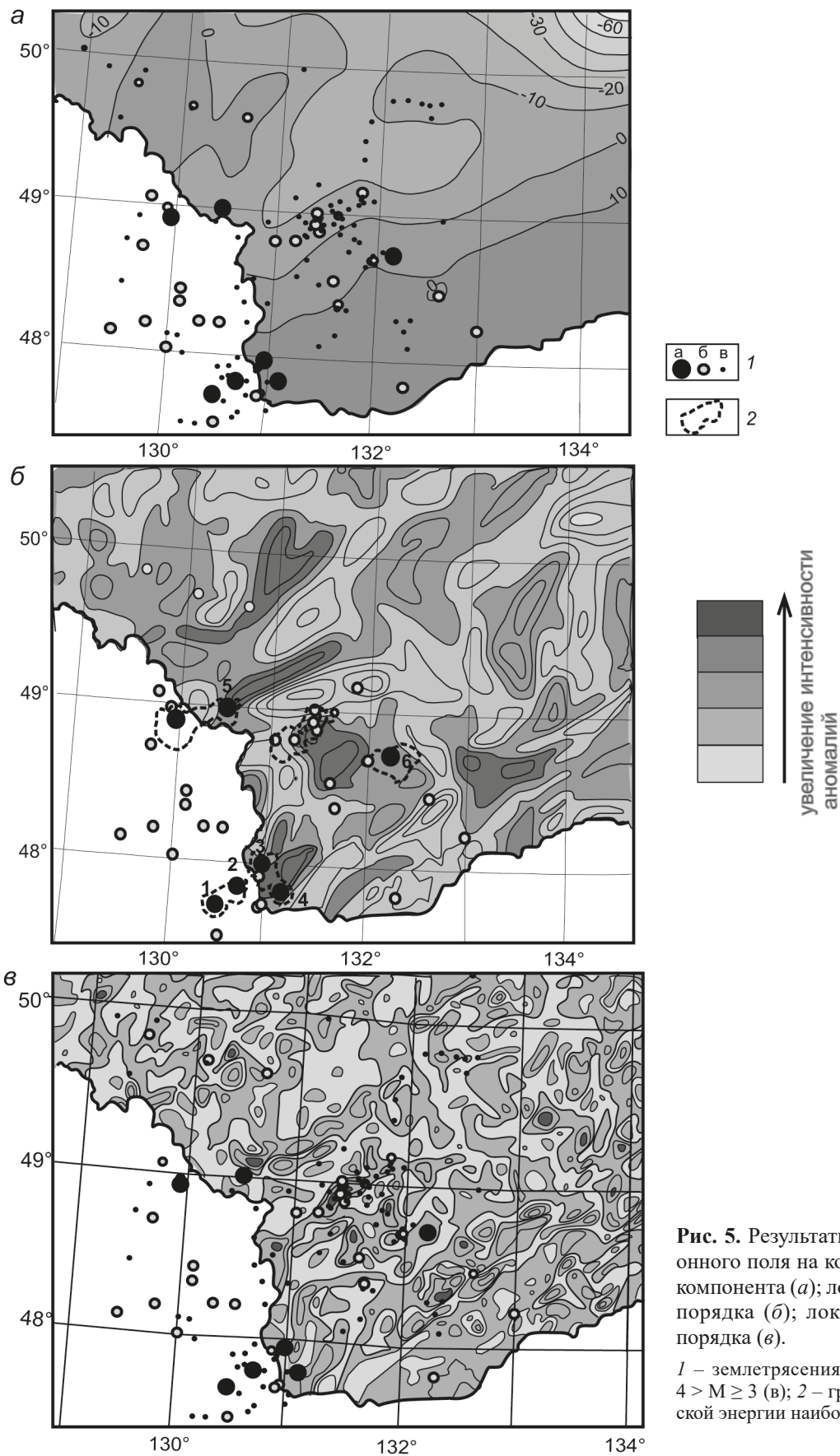


Рис. 5. Результаты разложения гравитационного поля на компоненты: региональная компонента (а); локальная компонента 1-го порядка (б); локальная компонента 2-го порядка (в).

1 – землетрясения $M \geq 5$ (а); $5 > M \geq 4$ (б); $4 > M \geq 3$ (в); 2 – границы аномалий сейсмической энергии наибольшей интенсивности.

Кольцевой характер формируется структурами рельефа с западной стороны северо-восточного направления, далее субширотного, а к востоку переходит в структуры северо-западного направления (рис. 1, а, б). Достаточно сильные сейсмические события ($M \geq 5$) и большинство более слабых с $5 > M \geq 4$ приурочены к пониженным формам рельефа. Только единичные землетрясения умеренной силы ($4 > M \geq 3$) произошли в областях с отметками высоты рельефа более 500 м (рис. 1, б).

В линиях преобладающей вытянутости регионального уровня, район работ представляет структуру, форма которой близка к изометричной (кольцевой) (рис. 6, а). С западной стороны от этой структуры линии вытянутости элементов рельефа характеризуются СВ направлением, а с других сторон линии вытянутости представлены густой сетью линий СВ ориентировки. Сама кольцевая структура образована с запада сетью линий СВ и СВ направления, в то время как ее СВ ограничение представлено линиями СЗ ориентировки. Внутри структуры отмечается серия линий субширотного (СШ) направления (рис. 6, а). Анализ линий вытянутости более детального уровня только района работ подтверждает кольцевой характер рельефа и демонстрирует ее сложное строение. Зона сгущений линий вытянутости СВ ориентировки с западной стороны смещена крупной зоной сгущений линий вытянутости СВ направления. С северной стороны линии вытянутости имеют преимущественно СШ направление, а с южной и крайней восточной стороны – СВ (рис. 6, б). В центре отмечается серия линий вытянутости СЗ направления. При более детальном анализе выделяются серии сгущений линий разного направления, но обращает внимание значительное по длине сгущение СЗ линий в центральной части, а также серия сгущений линий этого же направления к востоку. Сильные землетрясения ($M \geq 5$) часто наблюдаются вблизи пересечения сгущений линий вытянутости разного направления (рис. 6, в). Роза-диаграмма свидетельствует, что на детальном уровне (рис. 6, б) преобладание какого-либо направления не устанавливается, т. е. в этом месте одинаково представлены все направления мелких элементов рельефа (рис. 6, г).

На схеме линеаментов видно, что в районе проявлены линеаменты разных направлений. Протяженные линии элементов рельефа СВ направления отмечаются в северо-западной части (рис. 7, а). Протяженные линеаменты СВ направления наблюдаются как в западной части, так и в центре кольцевой структуры. Серия СШ линеаментов обнаруживается на северном окончании кольцевой структуры и за ее пределами. Линеаменты СЗ ориентировки, как правило, представ-

лены длинными одиночными линиями, пересекающими практически весь район работ (рис. 7, а). Сильные сейсмические события с $M \geq 5$ происходят на пересечении линеаментов разных направлений. Землетрясения 1–5 отмечаются на пересечении линеаментов и их сгущений СВ, СВ, СЗ и СШ ориентировки, а событие 6 приурочено к пересечению СЗ и СВ линеаментов. Большинство землетрясений с $5 > M \geq 4$ наблюдается в зоне проявления СВ линеаментов. Необходимо отметить, что повышенная сейсмичность характерна в большей мере для западной или северо-западной части, где выявлена более плотная сеть линеаментов и часто наблюдаются их сгущения. Восточная часть, где линеаменты представлены редкими одиночными линиями, практически асейсмична. На региональной схеме плотности ЭЛЭ кольцевой характер структуры с западной стороны подчеркивается СВ аномалиями повышенной плотности, с северо-восточной стороны СЗ аномалиями разной интенсивности (рис. 7, б). Ближе к восточной части отмечаются СВ аномалии пониженной плотности. Аномалии плотности элементарных линейных элементов максимальной интенсивности проявлены незначительными по размерам структурами разной ориентировки, которые не обнаруживают связи с сильными сейсмическими событиями $M \geq 5$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненный анализ геофизических полей и рельефа показывает, что зоны повышенной сейсмичности приурочены к кольцевой структуре сложного строения. Кольцевая конфигурация обусловлена согласованной комбинацией разрывов разного направления: СВ, СШ и СЗ. Наиболее четко структура выражена на картах линий преобладающей вытянутости роза-диаграмм и плотности ЭЛЭ (рис. 6, а; рис. 7, б). Кольцевая структура хорошо подчеркивается дуговым изгибом изолиний региональной компоненты гравитационного поля, что указывает на глубинный характер процессов, сформировавших эту структуру (рис. 5, а). Природа кольцевых структур разнообразна [13, 14, 39]. Такие структуры или даже их серии могут формироваться в связи с магматической деятельностью, в том числе индуцированными процессами, связанными с тектоникой литосферных плит – восходящими потоками вещества над субдуцируемой плитой [13]. Формирование кольцевых структур в зонах сдвига может быть связано с концентрическим характером распределения траекторий касательных напряжений, что подтверждается результатами моделирования [25]. Вихревые движения в астеносфере возникают и в местах встречи плит-тектонических движений разного направления [13]. Аналогичная

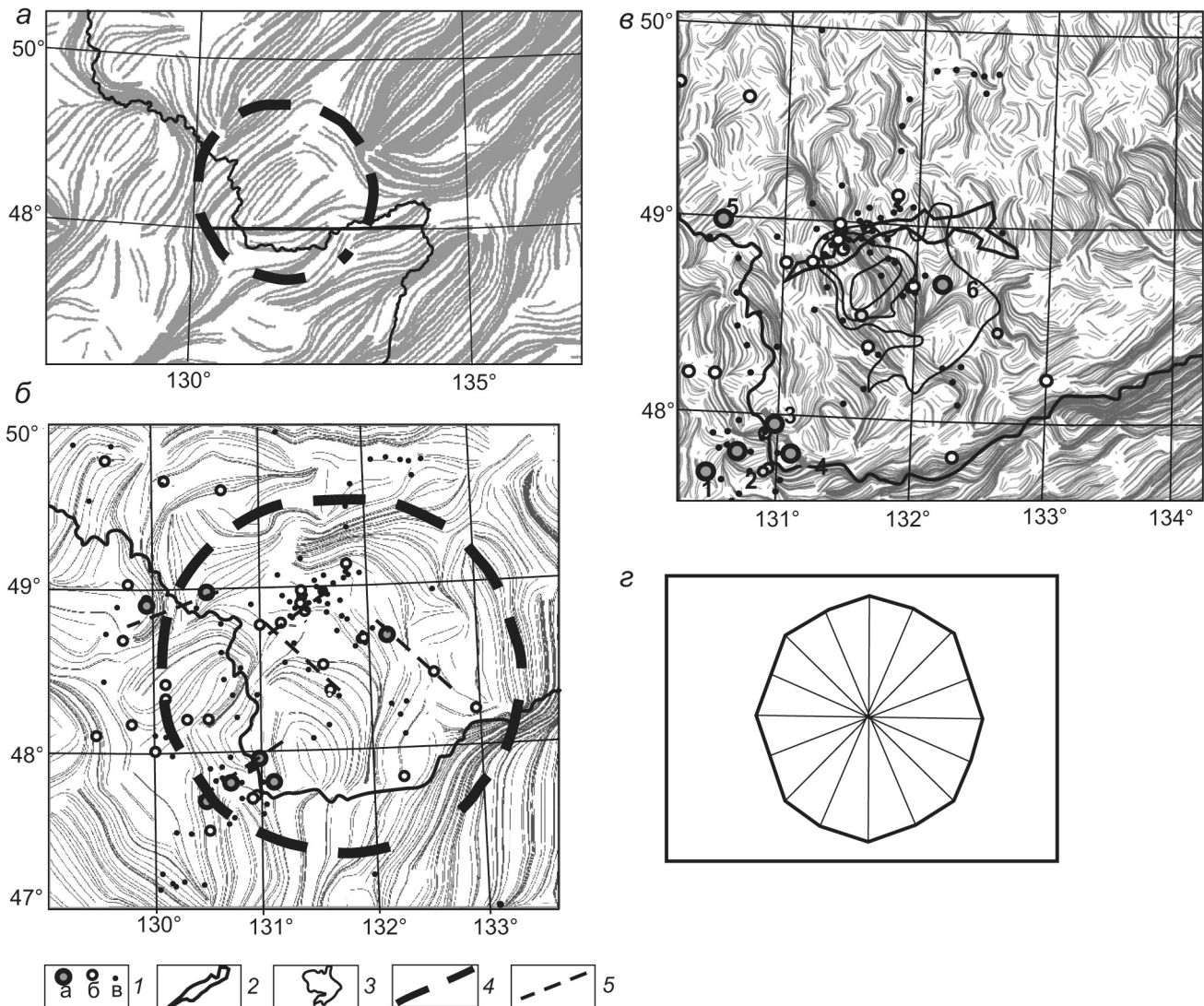


Рис. 6. Линии преобладающей вытянутости элементов рельефа: регионального уровня (а), детального уровня с размером окна 448 пикселей (б), с размером окна 128 пикселей (в) и роза-диаграмма для детального уровня (рис. 5, б) (г). 1 – землетрясения $M \geq 5$ (а); $5 > M \geq 4$ (б); $4 > M \geq 3$ (в); 2 – положение СВ впадины; 3 – границы локальной аномалии 1-го порядка гравитационного поля; 4 – границы кольцевой структуры; 5 – оси аномалий сейсмической энергии.

ситуация, вероятно, имеет место в данном районе. По данным МОВЗ здесь сочленяются глубинные структуры разного падения, вероятно, эти структуры имеют СВ и СЗ направления (рис. 4, а). Так как аналогичную направленность имеют аномалии сейсмической энергии и исходя из анализа гравитационных локальных аномалий 1-го порядка, внутри кольцевой структуры сочленяются крупные плотностные неоднородности СВ и СЗ ориентировок (рис. 3; рис. 5, б). Активизация структур СВ простирания и их сейсмическая активность рассматривается следствием процесса коллизии Индийской и Евразийской плит [38]. В то время как геодинамическая активность СЗ

структур, согласных с направлением движения Тихоокеанской плиты, может отражать влияние зоны субдукции этой плиты на процессы во внутриплитных областях [38].

Выполненный анализ аномалии локальной компоненты гравитационного поля 2-го порядка и рельефа демонстрирует примеры сдвиговых движений по разломам и разрывам СВ направления, которые привели к смещениям СМ структур (рис. 5, в; рис. 6, б), вероятно, представленных древними породами Буреинского комплекса. Детальными работами на сопредельной территории Китая в этом районе установлена активность разрывных СЗ структур, контролирующих

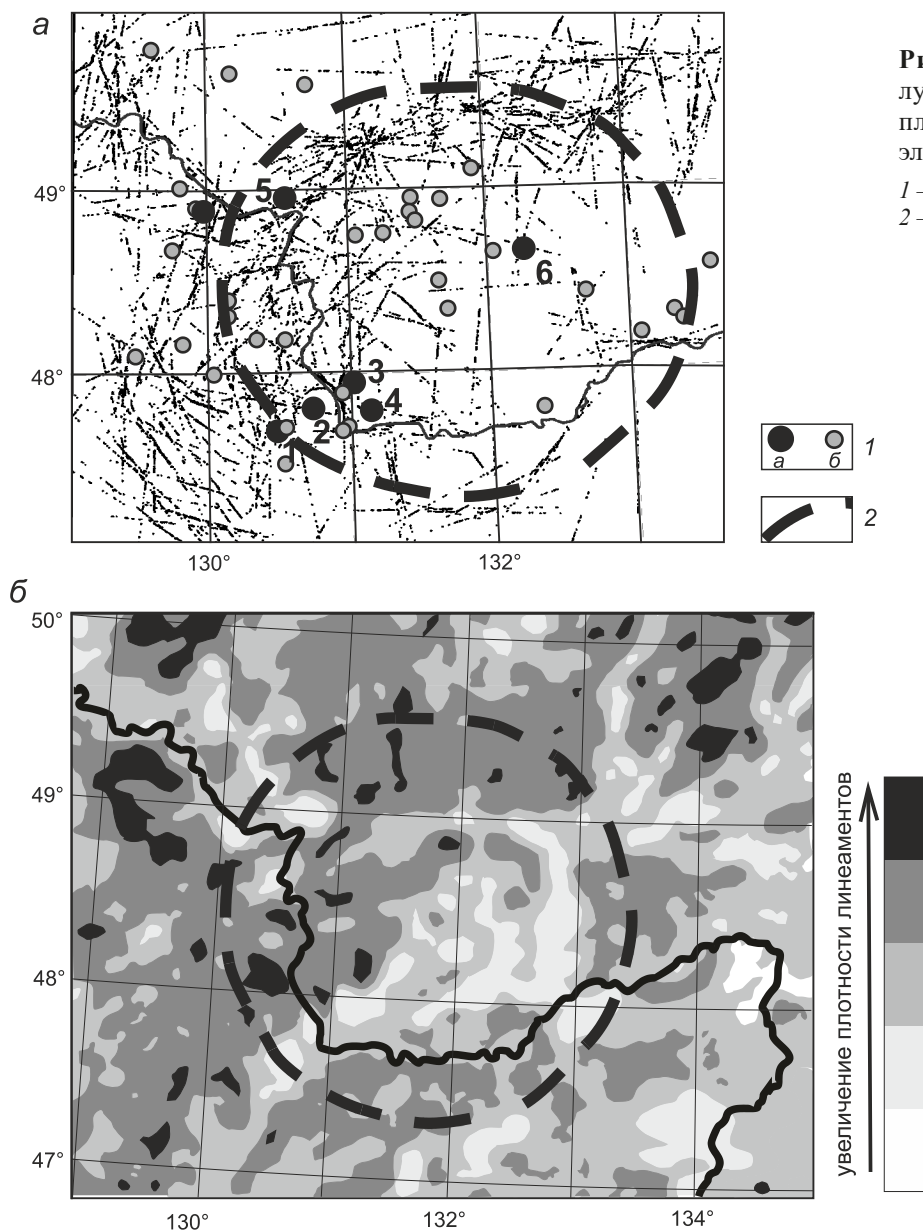


Рис. 7. Линеаменты рельефа наилучшей степени выраженности (а), плотность элементарных линейных элементов регионального уровня (б).

1 – землетрясения $M \geq 5$ (а); $5 > M \geq 4$ (б);
2 – границы кольцевой структуры.

смещения разломов СМ и СВ ориентировки [54]. Т.е. данная сейсмоактивная зона проявлена в области интенсивных сдвиговых движений, признаком которых можно рассматривать как смещение СМ структур, так и кольцевые и дугообразные структуры разного ранга. В тектонофизической модели «простого» сдвига, когда оси сжимающих и растягивающих горизонтальных напряжений смещены в перпендикулярном направлении, элементарные объемы пород испытывают изгиб и вращение [8]. Необходимо отметить, что описанная область сдвиговых деформаций образовалась в месте незначительного утонения литосферы от 140 км до 120 км и земной коры до 33 км, что может указывать на подъем кровли астеносферы (рис. 1, а).

Наклонная граница, устанавливаемая по данным МОВЗ, также может быть дополнительным фактом, подтверждающим что сейсмоактивная область образовалась в сдвиговом поле напряжений (рис. 4, б). В такой сейсмоактивной сдвиговой зоне, как провинция Бассейнов и Хребтов, повсеместно трассируются наклонные границы в средней-верхней коре, разделяющие повернутые блоки, рассматриваемые маркерами растяжения земной коры [36]. Наклонные глубинные сейсмические границы выявляются и в других сейсмоактивных областях региона [1, 2]. В этой сейсмоактивной области наклонная граница, по данным МОВЗ, проникает в мантию, т.е. представляет собой тектонический срыв «детachment». По современным данным, протяженные крутопадающие разломы глу-

бокого заложения формируют зоны горизонтального сдвига [3]. Такие зоны отличаются сложной организацией с неоднородностью как по латерали, так и по глубине [35]. Над наклонными срывами формируются серии структур, характерных для зон горизонтального сдвига: области растяжения (трещины отрыва), в местах концентрации сжимающих усилий образуются флексуры, складки, горсты и кольцевые структуры, где происходят развороты, кручения, погружения и поднятия жестких блоков [3]. В этом районе механизмы очагов землетрясений свидетельствуют о сдвигах, пологих сбросах, пологих надвигах, т.е. отмечаются участки сжатия и растяжения, что характерно для зон сдвигов [37].

В развитии крупных сдвиговых зон выделяется несколько стадий, для каждой из которых свойственны специфические особенности структурообразования и определенный характер проявления сейсмичности. Только для заключительных стадий развития сдвига характерны сильные сейсмические события, тяготеющие к осевой зоне сдвига [43–45]. В этой сейсмоактивной области отмечается рассеянный характер землетрясений с $M \geq 5$, наблюдается только упорядоченность трех достаточно сильных землетрясений с $M \geq 5$ (номер 1–3) в северо-восточном направлении. Эти события приурочены к осевой части аномалии повышенной интенсивности локальной компоненты 1-го порядка гравитационного поля такого же направления, большая часть которой, вероятно, находится на территории Китая (рис. 5, б). Другое землетрясение (номер 5) также приурочено к глубинной аномалии СВ направления. Наиболее сложная обстановка характерна для землетрясения под номером 6. Очаг этого события отмечается в области глубинной аномалии СЗ ориентировки (рис. 5, б). По распределению линий вытянутости в области землетрясения (номер 6) отмечаются серии структур СВ направления которые располагаются на одной линии со скоплениями СВ линий вытянутости, контролирующими землетрясения (номер 1–3) с $M \geq 5$ (рис. 5, б). Вероятно, ранее эти зоны скоплений СВ направления, представляли единую сейсмоактивную разрывную структуру, которая позже была нарушена сериями разрывов (линеаментами) СЗ направления (рис. 7, а). Землетрясения с $M \geq 5$ приурочены к достаточно интенсивным аномалиям гравитационного поля локальной составляющей 1-го порядка, т.е. аномалиям, обусловленным неоднородностями с повышенной плотностью (рис. 5, б). Области глубинных аномалий низкой интенсивности практически асейсмичны. Т.е. наиболее сильные в этой сейсмоактивной области землетрясения с $M \geq 5$ в большей мере связаны с структурами СВ направления, проявленными как в глубинных горизонтах ли-

тосферы, так и в рельефе дневной поверхности. Напротив, сильные землетрясения с $M \geq 5$ в строении близповерхностных горизонтов земной коры, которые отражены в локальной компоненте 2-го порядка, обнаруживают приуроченность к аномалиям низкой или средней интенсивности. В областях аномалии наиболее высокой интенсивности сейсмические события не происходят. Этот факт, вероятно, отражает контролирование очагов землетрясений ослабленными зонами в земной коре, представленными разломами и их пересечениями, где отмечаются разуплотнение пород и интрузии гранитоидов.

Все землетрясения с магнитудой 5 и более произошли в областях с пониженными формами рельефа, т.е. во впадинах разного ранга (рис. 1, б). Это факт указывает на режим растяжения, а вероятнее всего, на режим трансенсии как деформации, обусловленной одновременным действием сдвига и растяжения [32]. В данном случае режим трансенсии может носить локальный характер по отношению к региональному сжатию (транспрессии) [48]. Значительная роль растяжения в этом месте подтверждается результатами повторного нивелирования, на восточной окраине Буреинского массива фиксируется опускание со скоростью 1.6–11.3 мм/год [24]. Приуроченность сейсмически активных зон к структурам растяжения характерна и для таких крупных горных областей, как Алтае-Саянская, где все крупные проявления сейсмичности увязываются с системой впадин, вокруг которых происходят сильные землетрясения [22]. На Тянь-Шане сейсмические события значительной магнитуды также контролируются впадинами, чаще их бортами, и только слабые события происходят в окружающих впадинах хребтах [12].

Распределение более слабых землетрясений, но еще достаточно значительной величины магнитуды $5 > M \geq 4$, носит рассеянный характер, за исключением области скопления таких сейсмических событий, в СВ направлении. Скопление очагов землетрясений сформировалось на окончании крупной аномалии, свидетельствующей о неоднородности повышенной плотности СЗ ориентировки (рис. 5, б). Эта неоднородность, вероятно, играет роль индентора. Под индентором подразумевается жесткий объемный блок в земной коре, который в результате внешнего воздействия надавливает на расположенную перед ним среду и вызывает образование перед собой трещины расклинивания [21]. Движение индентора сопровождается системой диагональных разрывов и сопутствующих разрывов дуговой формы [27, 53]. Выявленная СЗ плотностная неоднородность имеет тенденцию к горизонтальному выжиманию в северо-западном направлении. Подобная подвижность подтверждается

дугообразной аномалией пониженной интенсивности перед СЗ аномалией, а также продолжающейся за пределы этой аномалии сгущения линий вытянутости СЗ направления (рис. 5, б, рис. 6, в). В приповерхностных горизонтах по анализу более мелких локальных аномалий силы тяжести в области скопления фиксируется смещение высокоинтенсивных СМ аномалий структурами СВ ориентировки. В этом месте фиксируется структура сдвига-раздвига, где с западной части отмечаются узкие СВ аномалии повышенной плотности, а к востоку серия СМ аномалий (рис. 5, в). По анализу линий вытянутости в этом месте не выявляется преобладание какого-то либо направления, за исключением серии линий СЗ ориентировки, что указывает на совместное участие СВ и СЗ неоднородностей в формировании сдвига-раздвига. О сдвиговых перемещениях по СВ разломам, которые привели к раздвиговым структурным парагенезисам в фундаменте, указывалось и в ранних работах [28, 47]. На дневной поверхности в рельефе в данном месте отмечается узкая впадина, удлиненная в северо-восточном направлении, согласная с широкой полосой сгущения линеаментов значительной длины СВ ориентировки (рис. 1, б). Эта впадина контролируется двумя субпараллельными разломами СВ ориентировки, один из которых крупный региональный разлом Чанчунь (рис. 1, а). Такие активные зоны одновременного действия сдвиговых и раздвиговых движений, вероятно, могут быть представлены сдвиговым дуплексом [26]. Сейсмически активные зоны, как Нью-Мадридская, впадина присдвигового растяжения Эрзурум (Восточная Турция) так же представляют собой зону растяжения в сдвиговых условиях, развивающуюся как pull-apart basin [11, 29]. Полученные данные о наклонной границе по данным МОВЗ, движении индентора, сдвига-раздвига в приповерхностных горизонтах и узкой впадины (трещины отрыва) на дневной поверхности показывают близость этих структур к модели, представленной в работе [52]. В этой модели, где глубокий наклонный разлом характеризуется как пологими сегментами, так и участками с крутым падением, развивается дуплекс растяжения на глубине, а ближе к дневной поверхности проявляются структуры растяжения [52]. Необходимо так же отметить, что в этой модели над наклонным срывом проявлены разломы разного падения, что, возможно, способствует вращению блоков и вихревым движениям.

Отличительной особенностью сейсмического процесса этого района является сравнительно глубокое залегание очагов землетрясений. Здесь выявлено единственное землетрясение в Приамурье с глубиной 50 км, которое произошло в верхней мантии

(рис. 4, б). Верхнемантийная сейсмичность указывает на повышенную активизацию литосферы, связанную с глубинными наклонными разрывами, корнями уходящими в мантию [1]. Рассеянный характер сейсмичности и отсутствие единого сейсмоактивного глубинного разлома указывает на то, что магистральный сместитель данного дизъюнктива ещё не сформировался.

Таким образом, сейсмоактивная зона юго-восточной окраины Буреинского массива была подвержена интенсивной тектонической активизации как в мезозойское время, так и на неотектоническом этапе развития. Активность обусловлена условиями действия горизонтальных тектонических напряжений, распространяющихся со стороны окружающих Амурскую плиту активных границ: зоны коллизии Евразийской и Индийской плит и субдукции Тихоокеанской плиты. В результате действия этих внешних тектонических факторов возникает серия глубинных структур СВ и СЗ направления, контролирующей сейсмичность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ рельефа и гравитационных аномалий показал, что изучаемая сейсмоактивная зона на юго-восточной окраине Буреинского массива образовалась в области кольцевой структуры, где отмечаются интенсивные горизонтальные сдвиговые деформации, признаками которых можно рассматривать наклонный срыв мантийного заложения, смещения древних СМ образований структурами СВ направления. Процесс инициировался глубинными СВ и СЗ неоднородностями повышенной плотности гравитационного поля.

Сильные землетрясения с $M \geq 5$ приурочены к СВ глубинным аномалиям повышенной интенсивности гравитационного поля. Преобладающая ориентировка линеаментов рельефа и локальных гравитационных аномалий, а также аналогичное простирание наиболее интенсивных аномалий сейсмической энергии, позволяет сделать вывод, что процесс активизации северо-восточных структур является основным. Скопление сейсмических событий с $3 \leq M < 5$ сформировалось над СЗ глубокой плотностной неоднородностью, которая имеет тенденцию к горизонтальному выжиманию в северо-западном направлении. В близповерхностных горизонтах в этом месте фиксируется смещение интенсивных СМ аномалий структурами СВ ориентировки, а на дневной поверхности наблюдается узкая впадина СВ простирания.

То есть описанная область повышенной сейсмичности юго-восточной окраины Буреинского массива является тектоническим узлом, где реализуются вращательные и сдвиговые деформации при взаимо-

действию крупных плотностных неоднородностей СВ и СЗ простирания. Неотектоническая активность СВ и СЗ структур, проявленная в линейных элементах рельефа, аномалиях гравитационного поля и сейсмической энергии отражает совместное воздействие коллизии Индийской и Евразийской плит и Тихоокеанской зоны субдукции на геодинамические процессы в этой внутриплитной области.

Требуется дальнейшее детальное изучение территории, так как области горизонтального сдвига отличаются не только повышенной сейсмической опасностью, но и благоприятны для миграции флюидов и углеводородов, что позволяет рассматривать их перспективными районами для поисков месторождений полезных ископаемых [3, 26].

Базовое финансирование выполненной работы за счет субсидий на выполнение госзаданий ИТиГ ДВО РАН (темы НИР № 122041100043-8, № 122041100034-6), и гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-00023).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев А.С., Егоров А.С. Особенности глубинного строения Байкало-Становой региональной сдвиговой зоны по геологическим, геофизическим, дистанционным данным в створе профиля 3-ДВ (южный участок) // Региональная геология и металлогения. 2017. № 70. С. 36–40.
2. Белявский В.В., Золотов Е.Е., Ракитов В.А., Нурмухамедов А.Г., Попруженко С.В., Шпак И.П., Храпов А.В. Глубинная сейсмогеоэлектрическая модель Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и Центрально-Корякской складчатой зоны в пределах профиля Корф-Верхнее Пенжино // Геофизика 2008. № 2. С. 30–44.
3. Бокун А.Н. Результаты тектонофизического моделирования зон горизонтального сдвига и использование их при поисках углеводородов // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. Тезисы докладов Всероссийской конференции в 2-х томах. М.: ИФЗ. 2008. Т. 1. С. 135–137.
4. Бормотов В.А., Меркулова Т.В. Кайнозойский этап развития северной ветви Тан-Лу-Охотской рифтовой системы: глубинное строение и сейсмогеодинамика // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 1. С. 26–41.
5. Геодинамика, магматизм и металлогения востока России / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
6. Геологическая карта ЕАО. 1:500 000 / А.Ф. Васькин, Г.В. Роганов (ред.). ФГУГП «Дальгеофизика». 2004.
7. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1:2 500 000: Объясн. зап. / Л.И. Красный (ред.). СПб.: ВСЕГЕИ, 1999 135 с.
8. Гогоненков Г.Н., Тимурзиев А.И. Сдвиговые деформации в чехле Западно-Сибирской плиты и их роль при разведке и разработке месторождений нефти и газа // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 3. С. 384–400.
9. Горкуша С.В. Изучение сейсмичности и глубинного строения Восточного Приамурья на основе кластерного анализа // Тихоокеан. геология. 1996. Т. 5, № 4. С. 67–76.
10. Горнов П.Ю., Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Подгорный В.Я. Геотермические разрезы земной коры области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов и смежных платформ // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 5. С. 630–647.
11. Грачев А.Ф. О природе Нью Мадридской зоны высокой сейсмической активности на Северо-Американской платформе. // Физика Земли. 1994. № 12. С. 12–23.
12. Грин Т.П. Гипотеза о причинной связи между магматизмом и сейсмичностью на Тянь-Шане и перспективы новых исследований // Вестн. Воронеж. университета. Серия геология. 2007. № 1. С. 151–164.
13. Гуревич Д.В. Кольцевые структуры: важнейшие механизмы образования. // Региональная геология и металлогения. 2009. № 39. С. 14–23.
14. Гуревич Д.В. Семейства купольно-кольцевых структур как результат деятельности мантийных и литосферных плюмов // Региональная геология и металлогения. 2010. № 43. С. 65–74.
15. Диденко А.Н., Ханчук А.И. Смена геодинамических обстановок в зоне перехода Тихий океан-Евразия // ДАН РАН Т. 487, № 4. 2019. С. 405–408.
16. Забродин В.Ю., Рыбас О.В., Гильманова Г.З. Разломная тектоника материковой части Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 2015. 129с.
17. Землетрясения в СССР. Из-во АН СССР. 1962–1991 г.
18. Землетрясения Северной Евразии 1992–2015. / Обнинск ГС РАН.
19. Землетрясения России в 2003–2015 г. / Обнинск ГС РАН.
20. Зобак М.Д., Зобак М.Л. Поле напряжений и внутриплитовые напряжения в США // Современные проблемы геодинамики. 1984. М.: Мир. С. 236–258.
21. Зыков Д.С., Поleshук А.В., Колодяжный С.Ю. Примеры взаимодействия геодинамических систем в морфоструктуре севера Восточно-Европейской платформы // Геоморфология. 2020. № 3. С. 84–97.
22. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В. Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны // Физическая мезомеханика. 2005. № 8. (1) С. 49–64.
23. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмоструктура Якутии / М.: ГЕОС. 2000. 227с.
24. Карта современных вертикальных движений по геодезическим данным на территорию СССР (СВДЗК). Под ред. Кашина Л.А. М.: ГУГК. 1989. 4 л.
25. Колодяжный С.Ю. Структура и эволюция Сурско-Камской зоны сдвига в кайнозой (Волго-Уральская антеклизиса Восточно-Европейской платформы) // Геотектоника. 2015. № 4. С. 30–53.
26. Конопелько Д.Л. Деформации, магматизм и оруденение в зонах региональных сдвигов на примере Таласо-Ферганского разлома, Тянь-Шань // Уральская минералогическая школа «Под знаком меди и медноблагороднометаллических месторождений». Екатеринбург. 2022. С. 81–82.
27. Кооп М.Л. Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизиином поясе. М.: Научный мир, 1997. 314 с.
28. Копылов М.И., Плотницкий Ю.Е., Родионов С.М., Рома-

- новский Н.П. Хингано-Олонойский оловорудный район: геолого-геофизические характеристики, рудоносность, проблемы развития сырьевой базы. Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2004. 252 с.
29. Кочийгит А., Джаноглу М.Д. Неотектоника и сейсмичность бассейна присдвигового растяжения Эрзурум (Восточная Турция) // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 1. С. 118–145.
 30. Лысак С.В. Термальная эволюция, геодинамика и современная геотермальная активность литосферы Китая // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 9. С. 1058–1071.
 31. Меркулова Т.В., Гильманова Г.З. // Сравнительный анализ линейных элементов рельефа и геофизических полей Буринского и Сихотэ-Алинского орогенов // Тихоокеан. геология. 2022. Т. 41, № 5. С. 101–116.
 32. Морозов Ю.А. Структурообразующая роль транспрессии и транстензии // Геотектоника. 2002. № 6. С. 3–24.
 33. Мухаметдиев Ш.А., Грачев А.Ф., Юнга С.Л. Нестационарный динамический контроль сейсмической активности платформенных областей со стороны срединно-океанических хребтов // Физика Земли. 2008. № 1. С. 12–22.
 34. Петров А.В., Юдин Д.Б., Хоу Сюели Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2. С. 126–132.
 35. Ребецкий Ю.Л., Михайлова А.В. Глубинная неоднородность напряженного состояния зон горизонтального сдвига // Физика Земли. 2014. № 6. С. 108–123.
 36. Романюк Т.В., Власова А.Н., Мнушкин М.Г., Михайлова А.В., Марчук Н.А. Реологическая модель и особенности напряженно-деформированного состояния региона активной сдвиговой разломной зоны на примере разлома Сан-Андреас (Калифорния) Статья 2. Тектонофизическая модель литосферы // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Геол. 2013. Т. 88. Вып. 2–3. С. 3–21.
 37. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Коваленко Н.С. Сейсмичность региона Приамурье и Приморье/ Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2019. 104 с.
 38. Степашко А.А., Меркулова Т.В., Диденко А.Н. Геодинамика и закономерности сейсмичности восточного сегмента Амурской плиты // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37, № 4. С. 28–43.
 39. Тверитинова Т.Ю., Викулин А.В. Геологические и геофизические признаки вихревых структур в геологической среде // Вестн. КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2005. № 5. С. 59–77.
 40. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов. Объяснительная записка к тектонической карте 1:1 500 000. Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 264 с.
 41. Турутанов Е.Х. Состав и морфология крупных плотностных неоднородностей земной коры – фактор влияния на сейсмическую активность // Отеч. геология. 2012. № 3. С. 66–72.
 42. Ханчук А.И., Голозубов В.В. Режим трансформной окраины на востоке Азии в мезозое и кайнозое // Эволюция тектонических процессов в истории земли: Материалы XXXVII тектонического совещания. Т. 2. Новосибирск. 2004. С. 249–252.
 43. Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А. и др. Разломообразование в литосфере: Зоны сдвига. Новосибирск.: Наука. Сиб. Отдел. 1991. 261 с.
 44. Шерман С.И., Борняков С.А., Семинский К.Ж. Стадии развития сдвиговой зоны, структура очагов и сейсмичность // Физические и сейсмогеологические основы прогнозирования разрушения горных пород. М.: Наука, 1992. С. 81–88.
 45. Шерман С.И., Молчанов А.Е., Адамович А.Н., Саньков В.А. Неравномерность проявления сейсмической активности в сдвиговых зонах // Геология и геофизика. 1989. № 11. С. 3–13.
 46. Цзан Шаосянь, Ян Цзюньлян. Распределение внутриплитных землетрясений в Северном Китае и их физическое объяснение // Тихоокеан. геология. 1991. № 5. С. 56–63.
 47. Юшманов Ю.П. Сдвиговая тектоника Хингано-Олонойского рудного района и структурный контроль рудных тел // Региональные проблемы. 2013. Т. 16, № 1. С. 30–34.
 48. Юшманов Ю.П. Золотоносные вихревые структуры в сдвиговых дуплексах Дальнего Востока: Центральная Колыма, Нижнее Приамурье // Отеч. геология. 2019. № 3. С. 55–62.
 49. Didenko A.N., Nosyrev M.I., Gilmanova G.Z. A gravity – derived Moho model for the Sikhote Alin Orogenic Belt // Pure and Applied Geophysics. 2021. Doi 10.1007/s00024-021-02842-8.
 50. Iio Y., Kobayashi Y.A. physical understanding of large intraplate earthquakes // Earth, Planets and Space. 2002. V. 54, P. 1001–1004.
 51. Liu K.H., Gao S.S., Gao Y., Wu J. Shear wave splitting and mantle flow associated with the deflected Pacific slab beneath northeast Asia. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2008. V. 113(B1): B01305, doi: 10.1029/2007JB005178.
 52. Twiss R.J., Moores E.M. Structural geology. New York: W.H. Freeman and Company, 1992. P. 532.
 53. Woodcock N.H. The role of strike-slip fault systems at plate boundaries // Phil. Trans. Royal Soc. London. 1986. A-317. P. 13–29.
 54. Zhang L., Liu Z., Yang H., Wu J., Jiang W., Li G. Gravity and magnetic features and basement relief of the Sanjiang Basin in Heilongjiang Province, China // Journal Geophysical and Engineering. 2012. N 9. P. 147–161.
 55. Zlatopolsky A. Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA // Computers & Geosci. 1997. V. 23, N. 1. P. 45–62.

Рекомендована к печати В.Г. Быковым

после доработки 03.06.2024 г.

принята к печати 15.07.2024 г.

T.V. Merkulova, G.Z. Gil'manova

Structural control of seismic activity along the southeastern edge of the Bureya massif

Analysis of the relief and geophysical fields showed the seismic zone of the southeastern margin of the Bureya massif to be confined to the ring structure, where signs of shear deformation were revealed: displacement of submeridional structures by northeastern faults, an oblique mantle detachment. The gravity field analysis indicates that strike-slip displacements were initiated by NE- and NW-oriented heterogeneities. Anomalies of the released seismic energy are also of NE and NW directions, but the intensity and the size of the first direction are much greater. The strongest seismic sources with $M \geq 5$ are confined to deep NE intense gravity anomalies suggesting that activation of northeastern structures in this seismic zone is the main process. The area where sources with $5 > M \geq 4$ cluster on the surface is confined to the narrow depression formed above the edge of the deep NW-oriented intense anomaly which tends to pinch out laterally. In the near-surface horizons, according to the gravity field analysis data, submeridional anomalies are displaced by NE-oriented structures to form a transtensional fault. Thus, the area of enhanced seismic activity represents a tectonic center with NE- and NW-oriented structures aligned. These structures initiate rotational and shear deformations, which probably reflects the joint influence of the collision between the Indian and Eurasian plates, on the one hand, and the Pacific subduction zone, on the other, on intraplate processes.

***Key words:* seismic zone, gravity anomalies, lineaments, ring structure, shear zones.**