

ГЛУБИННАЯ СТРУКТУРА, ГЕНЕЗИС И СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВИЗАЦИЯ  
БУРЕЙНСКОГО ОРОГЕНА, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ

*А.А. Степашико, Т.В. Меркулова*

ФГБУН Институт тектоники и геофизики им Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000;  
e-mail: [stepashko@itig.as.khb.ru](mailto:stepashko@itig.as.khb.ru)

Поступила в редакцию 15 марта 2016 г.

Буреинскому орогену отводится особое значение среди геодинамических факторов, с которыми связана повышенная сейсмичность Нижнего Приамурья. Его местоположение и глубинное строение изучены на основе комплекса геофизических и тектонических данных. Ороген представляет собой литосферную область с низкой плотностью, выраженную интенсивной аномалией гравитационного поля отрицательного знака и понижением границы Мохо до 40 км. В пределах этой литосферной структуры происходит современное воздымание, формирующее меридиональный свод, в котором сосредоточены горные вершины высотой более 2000 м. Закономерная позиция орогена в региональной структуре позволяет предполагать, что Буреинский ороген образовался в палеогене на завершающем этапе перемещений тектонических блоков вдоль тихоокеанской окраины по северо-восточным сдвигам разломной зоны Тан-Лу. Концентрация сжатия происходила в районе тройного сочленения Центрально-Азиатского, Монголо-Охотского и Сихотэ-Алинского тектонических поясов. С меридиональной позицией Буреинского свода закономерно связано параллельное расположение вытянутых кайнозойских впадин региона. Единая морфотектоническая система могла образоваться в результате литосферной складчатости при горизонтальном сжатии палеоцен-эоценового возраста. Длина волны Нижнеамурской системы складок составляет 250 км, что согласуется с теоретическими оценками и с примерами литосферных складок в других регионах. Современная активизация Буреинского орогена началась в миоцене под влиянием фронта Амурской плиты, который перемещается в северо-восточном направлении. Как следствие сжатия, вдоль западной границы орогенного свода образуется меридиональный кластер с высокой концентрацией эпицентров слабых землетрясений магнитудой  $M \geq 2.0$ . Наиболее интенсивные деформации вызывают другой тип сейсмичности, обусловленный подъемом орогена вследствие его активизации. В результате над апикальной частью свода формируется «Буреинская» сейсмическая зона, в которой часто происходят наиболее сильные землетрясения магнитудой  $M \geq 4.5$ .

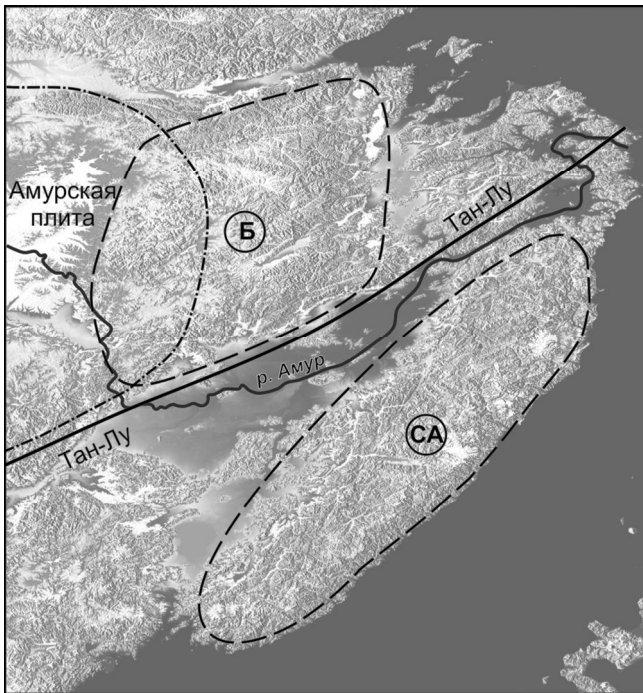
**Ключевые слова:** глубинное строение, морфотектоника, сейсмичность, литосферная складчатость, Амурская плита, мегаразлом Тан-Лу, Буреинский ороген, Дальний Восток России.

**ВВЕДЕНИЕ**

В понимании природы региональной сейсмичности наиболее серьезные проблемы возникают тогда, когда повышенной активностью отличаются внутриконтинентальные области, заведомо удаленные от границ литосферных плит. В таких регионах деформации накапливаются зачастую во множестве разноранговых тектонических нарушений, в результате распределение эпицентров землетрясений по площади приобретает рассеянный характер без выраженных пространственно-временных тенденций.

Подобный «диффузный» стиль сейсмической активности наблюдается для Нижнего Приамурья – дальневосточного региона России (рис. 1), выделяемого в нижнем течении реки Амур.

Характер и генезис повышенной сейсмичности Нижнего Приамурья обсуждались многократно с разных, порой противоположных позиций [2, 3, 8, 9, 15, 17, 19–21, 26, 28, 31, 34, 35]. Основное внимание традиционно уделялось как анализу связей сейсмичности с разломной структурой, так и прямому поиску тех геолого-геофизических особенностей, от которых



**Рис. 1.** Буреинский (Б) и Сихотэ-Алинский (СА) орогены в рельефе южной части Дальнего Востока России.

может зависеть пространственное размещение и интенсивность землетрясений. Очевидного решения проблемы обнаружено не было, и это предполагает многофакторный характер деформаций, происходящих в регионе. По-видимому, «диффузное» эпицентральное поле региона отражает совокупную картину совмещения событий, вызванных действием нескольких относительно самостоятельных тектонофизических механизмов.

Единственным путем для расшифровки пространственно-временных закономерностей сейсмичности в такой ситуации может стать понимание геодинамической природы современных деформаций. Два главных тектонических фактора, определяющих особенности поля региональных напряжений Нижнего Приамурья, хорошо известны. На юге региона протягивается ключевая структура – зона мегаразлома Тан-Лу (рис. 1). Точная позиция зоны Тан-Лу на китайской территории хорошо картируется, но на российской плохо определена и остается дискуссионной [3, 5, 13, 27, 49]. По нашему мнению, самыми надежными маркерами позиции мегаразлома Тан-Лу являются землетрясения магнитудой  $M > 5.0$ , эпицентры которых сосредоточены в полосе, вытянутой вдоль Амура вплоть до г. Николаевск-на-Амуре [36, 37]. В этой же полосе расположены эпицентры двух известных сильных землетрясений Нижнего Приамурья 1500 и 1914 гг. с магнитудой  $M \sim 6.0$ . На южном

продолжении этой полосы документированы голоценовые сейсмогенные эскарпы длиной 70 и 20 км, предполагающие события, магнитуда которых могла превышать  $M \sim 7.0$  [59]. Последнее и самое сильное из этих землетрясений, по данным радиоуглеродного датирования китайских сейсмологов, было 1730  $\pm$  40 лет назад [59].

Ключевое значение для понимания сейсмической активизации региона играет Амурская плита (рис. 1), которая смещается в северо-восточном направлении со скоростью 1–1.3 см/год [13]. В исходной геодинамической модели [10] границы Амурской плиты проведены значительно восточнее, и близкая конфигурация плиты продолжает использоваться для общих реконструкций региональной кинематики [42, 47, 52]. В этом случае Нижнее Приамурье оказывается внутри Амурской плиты, удалено от тектонических границ и повышенная сейсмичность его не объяснима. Детальный анализ деформаций, подкрепленный результатами GPS геодезии, предполагает, однако, что восточная граница Амурской плиты должна быть значительно смещена на запад [1, 13, 23, 49]. Площадь Амурской плиты при таком подходе резко сокращается, и ее восточная граница должна проходить вдоль мегазоны Тан-Лу [1, 5, 13, 36, 37.]. В этом современном варианте Нижнее Приамурье расположено прямо на фронте Амурской плиты (рис. 1) и характер региональных деформаций определяется западным сжатием.

В современных геодинамических построениях необходимо учитывать роль еще одного фактора. Центральное положение в Нижнем Приамурье занимает современный «Буреинский» ороген (рис. 1), которому в рельефе региона отвечает Турано-Буреино-Баджальская горная страна [9, 12, 39, 41]. Наряду с Сихотэ-Алинским хребтом, это одно из двух современных орогенных сооружений в южной части Дальнего Востока. Причем наиболее интенсивные деформации, по всей видимости, происходят именно в Буреинском орогене, так как здесь находятся пятнадцать вершин, высота которых превышает 2000 м, в то время как на Сихотэ-Алине известно только два пика сопоставимой высоты. Сейсмическая активность в пределах Буреинского орогена также значительно выше по сравнению с Сихотэ-Алинским, для большей части последнего характерны редкие и слабые землетрясения. Главные задачи данной работы заключаются в том, чтобы определить особенности глубинного строения и тектонический генезис Буреинского орогена, прояснить характер его современной активности в соотношении с другими геодинамическими факторами. Полученные нами результаты, которые приводятся в этой и следующей статьях, показывают, что буреинский орогенез также оказывает

прямое воздействие на сейсмическую активизацию Нижнего Приамурья, определяя ключевые тенденции пространственно-временного распределения землетрясений региона.

#### ПОЗИЦИЯ БУРЕЙНСКОГО ОРОГЕНА В СТРУКТУРЕ РЕГИОНА

Тектоническая консолидация Нижнего Приамурья завершилась к концу мезозоя в результате сложного совмещения разновременных и разнонаправленных аккреционных процессов, происходивших на восточной окраине Азии (рис. 2). Западную часть формирует древний Буреинский массив – микроконтинент Центрально-Азиатского аккреционно-складчатого пояса, образовавшегося при закрытии палеоокеана, который разделял в палеозое Северо-Китайский и Сибирский континенты. Здесь к началу мезозоя сформировался палеоконтинент Амурия [33], столкновение которого с окраиной Сибирского континента завершилось к концу юры. В результате образовался второй аккреционный пояс – Монголо-Охотский, восточный сегмент которого определяет строение северной части Нижнего Приамурья (рис. 2). Судя по тектоническим реконструкциям, подкрепленным геофизическими данными, граница двух региональных тектонических поясов должна быть крупным межплитным разделом. В современной структуре ее трассирует Пауканский разлом (рис. 2), где предполагается наличие Монголо-Охотской сутуры, оставшейся от закрытия одноименного океана [24]. С рубежа ~180 млн лет назад началась эволюция современного Тихого океана, при воздействии которого на окраину Азии сформировались аккреционные комплексы Сихотэ-Алинской области, которые расположены на востоке Нижнего Приамурья (рис. 2). Меридиональная граница континента Амурии с Тихим океаном проходит вдоль восточного края Буреинского массива. Здесь следует предполагать второй межплитный раздел, над которым располагается юрско-меловой Баджальский аккреционный комплекс [11].

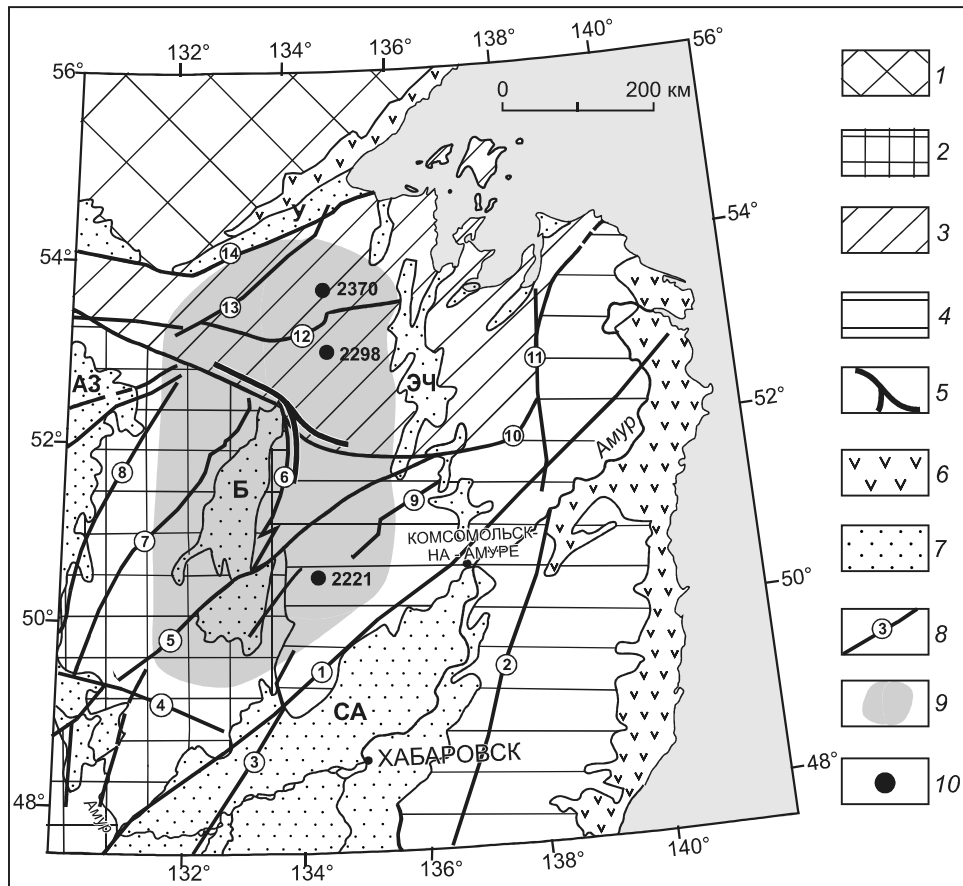
В Нижнем Приамурье сходятся, таким образом, три главных тектонических пояса региона: Центрально-Азиатский, Монголо-Охотский и Тихоокеанский, образуя уникальное тройное литосферное сочленение (рис. 2). Относительно этой структуры, образованной в конце мезозоя, современный Буреинский ороген занимает закономерное положение и фактически «насажен» на район пересечения пограничных литосферных разделов. По всей видимости, структура пересечения в центре Нижнего Приамурья стала своеобразным «фокусом» поля напряжений, в котором сложились наиболее благоприятные условия для концентрации региональных деформаций.

Важнейшую роль в структуре региона играют разновозрастные тектонические нарушения, среди которых особая роль принадлежит предполагаемому глубинному продолжению Илань-Итунского сегмента мегаразлома Тан-Лу (рис. 2). Важно, что такую же или очень близкую северо-восточную ориентировку имеют многие тектонические нарушения Нижнего Приамурья, к главным из которых относятся (5) Хинганский, (7) Мельгинский, (8) Западно-Туранский разломы (рис. 2). Это явно единая суперсистема тектонических нарушений мезозойского возраста, образование которой было вызвано косою субдукцией палеотихоокеанских плит под окраину континента. Буреинский ороген занимает закономерное положение относительно разломов суперсистемы Тан-Лу, что предполагает их ключевую роль в его образовании.

Важной особенностью тектонического строения Нижнего Приамурья является широкое развитие континентальных осадочных депрессий, обрамляющих Буреинский ороген (рис. 2). Аналогичные рифтогенные бассейны восточной Азии широко известны, порой нефтегазоносны, и их широкое развитие предполагает, что с конца мезозоя континентальная окраина эволюционировала в условиях длительного растяжения. Детальное изучение бассейнов Северного Китая [54] указывает на постепенное перемещение рифтогенеза в восточном направлении. Аналогичную миграционную особенность демонстрируют осадочные бассейны Приамурья. Формирование расположенных на западе и севере Амуру-Зейской и Удской впадин, Буреинского бассейна происходило преимущественно в юрско-меловое время. Расположенные на востоке Среднеамурская, Эворон-Чукчагирская и Нижнеамурская депрессии имеют кайнозойский возраст. Вместе с тем, относительно Буреинского орогена перечисленные впадины занимают явно закономерное положение, обрамляя его (рис. 2). Такая пространственная согласованность предполагает, что прогибание осадочных бассейнов сопровождало поднятие Буреинского орогена в рамках, возможно, общего тектонического процесса.

#### ГЛАВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ БУРЕЙНСКОГО ОРОГЕНА

Принципиальное значение для понимания природы геодинамических процессов, происходящих в Нижнем Приамурье, имеют данные и результаты региональных геофизических исследований, интенсивно проводившихся в последние десятилетия [7, 38]. К настоящему времени вся площадь Нижнего Приамурья покрыта среднемасштабными гравиметрическими и магнитометрическими съемками, что позволяет уточнить особенности внутреннего строения Буреинского



**Рис. 2.** Позиция Буреинского орогена в тектонической структуре юга Дальнего Востока.

1 – Сибирский кратон; 2–4 – аккреционно-складчатые пояса: 2 – Центрально-Азиатский, 3 – Монголо-Охотский, 4 – Сихотэ-Алинский; 5 – район тройного сочленения тектонических поясов; 6 – окраинно-континентальные вулканические пояса; 7 – осадочные впадины обрамления орогена: (СА) Среднеамурская, (ЭЧ) Эворон-Чукчагирская, (У) Удская, (АЗ) Амуро-Зейская, (Б) Буреинский бассейн; 8 – региональные разломы: (1) Тан-Лу (Илань-Итунский), (2) Центрально-Сихотэ-Алинский, (3) Куканский, (4) Сюнхэ-Бирский, (5) Хинганский, (6) Тастахский, (7) Мельгинский, (8) Западно-Туранский, (9) Дукинский, (10) Пауканский, (11) Лимурчанский, (12) Тугурский, (13) Улигданский, (14) Северо-Тукурингрский; 9 – позиция Буреинского орогена; 10 – главные горные вершины и их высота в метрах.

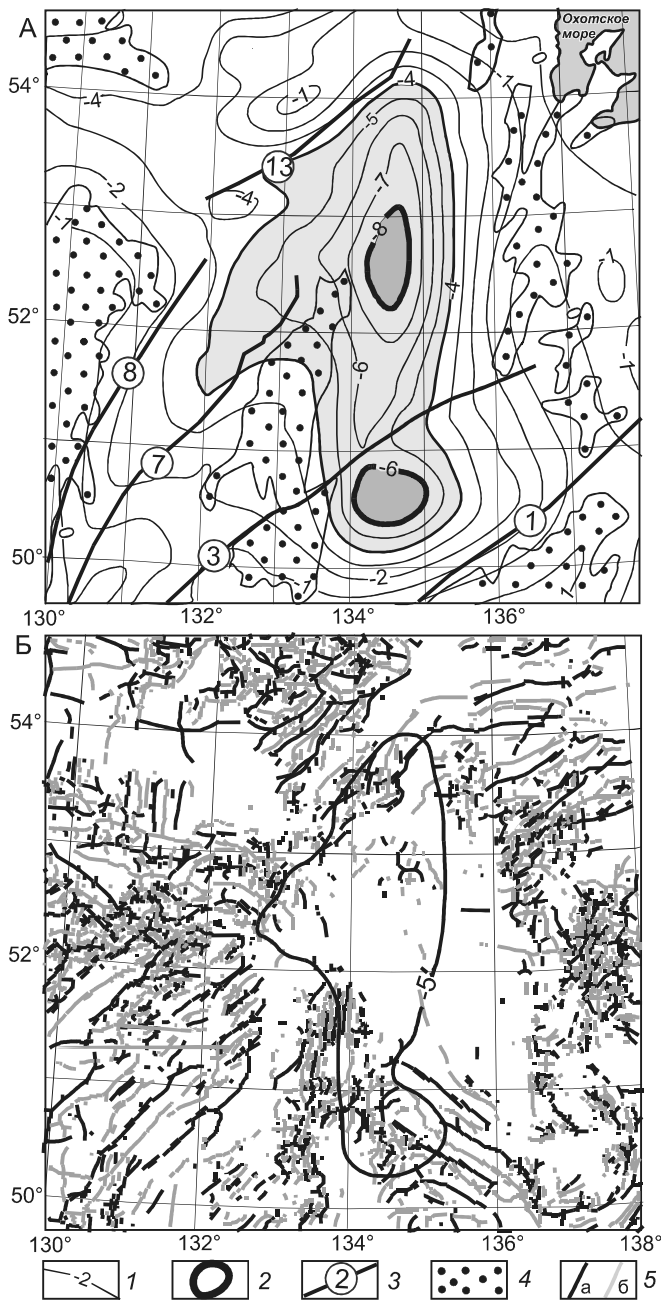
орогена. Интерпретация геофизических полей выполнялась с использованием программы КОСКАД-3D, разработанной А.В. Петровым для анализа трехмерной цифровой геоинформации вероятностно-статистическими методами [32]. Акцент при интерпретации был сделан на процедуре разделения геофизических полей на региональную и локальные составляющие с помощью двумерной адаптивной фильтрации.

Общую структуру литосферы региона лучше всего показывают сейсмические модели, из которых ниже использованы как схема вариаций мощности земной коры на юге Дальнего Востока [7, 38], так и глубинный сейсмический разрез Нижнего Приамурья вдоль профиля р. Олекма – мыс Невельского, восточная часть которого пересекает Нижнее Приамурье в субширотном направлении. Принципиально важную информацию о строении литосферы имеет

плотностное моделирование, выполненное В.Я. Подгорным [22].

#### Региональная позиция и глубинное строение орогена по геофизическим данным

Известной особенностью поля силы тяжести Нижнего Приамурья является крупная отрицательная аномалия, которая часто рассматривается как элемент гравитационной ступени на окраине континента [7]. Пространственно аномалия совпадает с Буреинским орогеном, и их связь становится несомненной при использовании методики разделения поля на региональную и локальные компоненты, реализованная в программе КОСКАД-3D. Полученная региональная гравитационная аномалия отрицательного знака (рис. 3 а) является изолированной и занимает доминирующее положение в регионе. Контур ее центральной части хорошо описывается изолинией -4 мГал и обла-



**Рис. 3.** Особенности Буреинского орогена в аномалиях (А) гравитационного и (Б) магнитного полей.

1 – изолинии региональной компоненты гравитационного поля в редукции Буге, мГал; 2 – зоны минимальных значений региональной компоненты, серым тоном подчеркнута позиция ядра орогена по гравитационным данным; 3 – главные разломы мегасистемы Тан-Лу, нумерация согласно рис. 2; 4 – осадочные впадины; 5 – оси (а) положительных и (б) отрицательных магнитных аномалий.

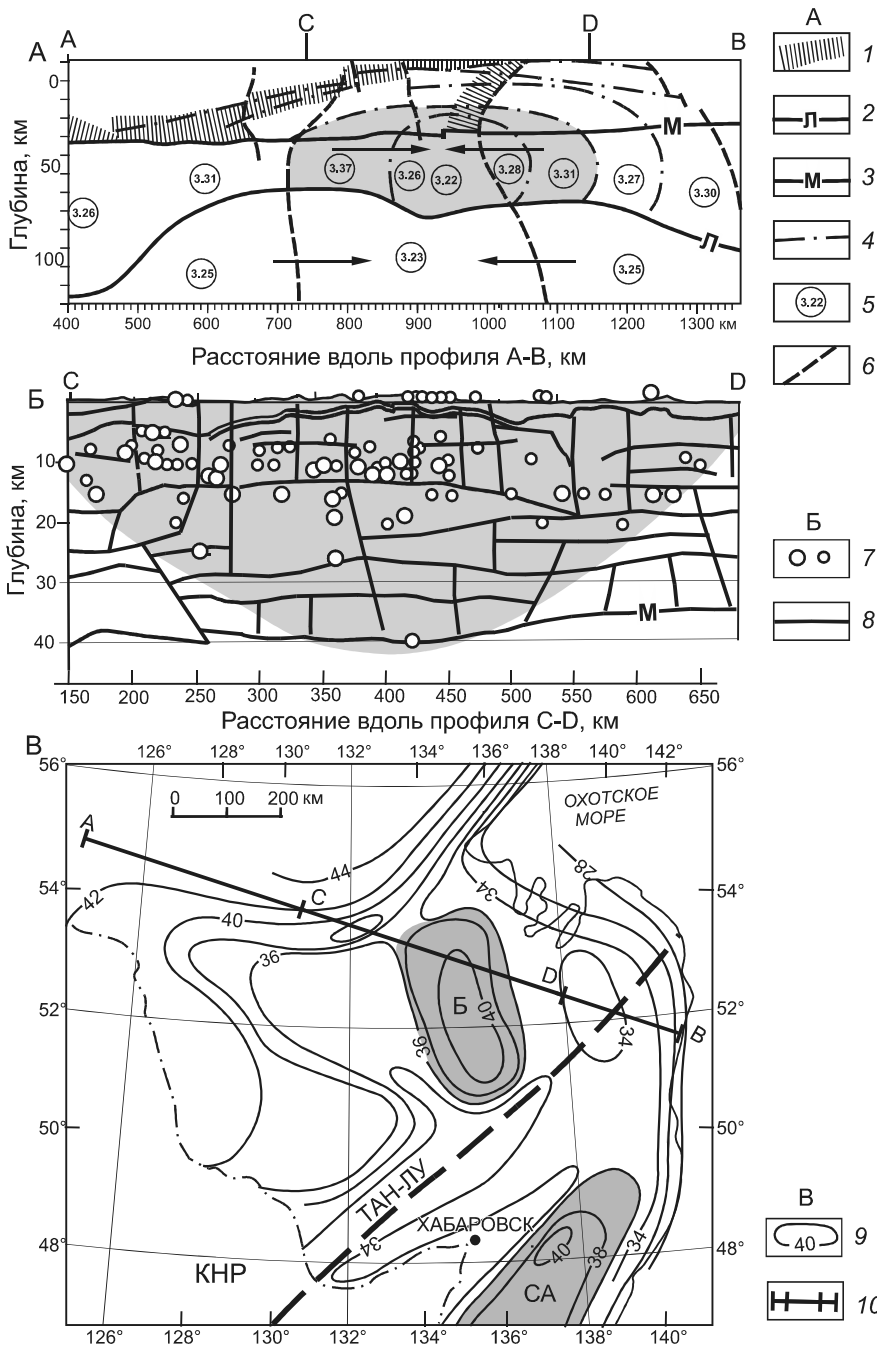
дает четко выраженным меридиональным удлинением. В пределах центрального контура выделяются два минимума, в главном из которых интенсивность аномалии возрастает до -8 мГал. В пределах аномалии гравитационное поле асимметрично в направле-

нии с запада на восток, причем сгущение изолиний заметно выше вдоль ее восточной границы. Осадочные депрессии, обрамляющие Буреинский ороген, сосредоточены по периферии региональной аномалии (рис. 3 а), особенно явно эта связь выражена для Буреинского бассейна и Эворон-Чукчагирской впадины. Положение и контур региональной гравитационной аномалии идеально вписываются в веерный рисунок региональных разломов СВ простирания. Это ясно указывает на генетическую связь как региональной аномалии, так и самого Буреинского орогенного сооружения, глубинные корни которого она фиксирует, с тектоникой сдвиговой мегасистемы Тан-Лу.

На карте осей региональных аномалий магнитного поля Нижнего Приамурья выделяется большое количество линейных аномалий (рис. 3 б) как положительного, так и отрицательного знака разной ориентировки. Они, видимо, фиксируют положение многочисленных даек разного состава и возраста, жильных и трещинных зон, насыщенных гидротермальными флюидами, в совокупности отражающих сложную деформационную историю региона. Простой рисунок наблюдается лишь на юго-западе, где подавляющее число осей магнитных аномалий ориентировано в северо-восточном направлении. Эта связь предполагает прямое выстраивание мелких разломов и трещинных зон, заполнявшихся магматическими расплавами или флюидами, вдоль вектора сжатия, которое транслировалось по сдвигам мегасистемы Тан-Лу на протяжении длительного времени.

Такой рисунок резко меняется на периферии плотностной аномалии Буреинского орогена (рис. 3 б), где простирание осей магнитных аномалий становится неустойчивым. Во многих случаях, тем не менее, видно, что линейные аномалии ориентированы либо параллельно, либо ортогонально контуру орогена. В центре области разуплотнения, подчеркнутой изолинией гравитационного поля -5 мГал, количество магнитных аномалий резко уменьшается. Все указывает на значительное воздействие Буреинского орогена на деформационное поле, в конечном счете, на рисунок дислокаций в верхней части коры.

Наиболее глубинную информацию об аномальном строении литосферы в районе Буреинского орогена дают результаты плотностного моделирования вдоль профиля р. Олекма – мыс Невельского [22] (рис. 4 а). В восточной части разреза выделяется крупная куполообразная структура, которая охватывает как кору, так и литосферную мантию до глубины ~ 70 км. Кровля астеносферы под центром этой структуры опущена, вычисленные значения плотности мантии здесь минимальны 3.22 г/см<sup>3</sup> и систематически возрастают в обоих направлениях от центра до 3.31–3.37 г/см<sup>3</sup> на ее



**Рис. 4.** Глубинная структура Буреинского орогена.

**А** – плотностная модель литосферы вдоль профиля АВ (р. Олекма–мыс Невельского), по В.Я. Подгорному [22], с упрощением.

1 – зоны коровых плотностных неоднородностей; 2 – подошва литосферы; 3 – подошва коры; 4 – поверхности плотностных куполообразных структур; 5 – вычисленные значения плотности в г/см<sup>3</sup>; 6 – глубинные разломы. Серым тоном показана главная структура литосферного разуплотнения; стрелки подчеркивают направления уменьшения плотности в мантии.

**Б** – сейсмический разрез по профилю CD. 7 – землетрясения магнитудой  $M > 4.0$  и  $3.0 < M < 4.0$ , зафиксированные в полосе  $\pm 100$  км от профиля в период 1960–2009 гг., 8 – сейсмические границы. Серым тоном показана область концентрации гипоцентров землетрясений.

**В** – вариации поверхности Мохо в Нижнем Приамурье, по [38].

9 – изолинии мощности коры в км; 10 – положение профиля ГСЗ р. Олекма – мыс Невельского. Серым выделены Буреинский (Б) и Сихотэ-Алинский (СА) орогены.

периферии (рис. 4 а). Аномальная купольная структура расположена именно там, где пересекаются у поверхности две крупные линейные плотностные неоднородности, которые, видимо, отражают положение межплитных разделов Нижнего Приамурья. Буреинское орогенное сооружение расположено над этой аномальной купольной структурой и «венчает», таким образом, литосферную область разуплотнения поперечником порядка  $\sim 400$  км вдоль профиля.

Более детально структура земной коры Буреинского орогена показана на сейсмическом разрезе

вдоль центрального CD-отрезка глубинного профиля р. Олекма – мыс Невельского (рис. 4 б). Граница Мохо в области разуплотнения погружается до 40 км, а сейсмические границы, напротив, в верхней части коры орогена приобретают купольный характер. Поперечник аномальной области на сейсмическом разрезе также составляет 400–500 км. Распределение сейсмичности вдоль профиля, видимо, не случайно и явно связано с позицией орогена. Глубина очагов землетрясений магнитудой  $M \geq 3.0$ , зарегистрированных вдоль профиля, максимальна под центром аномаль-

ной структуры, ~40 км, и уменьшается до ~20 км к ее границам. Это является свидетельством прямого влияния орогена на сейсмодинамику Нижнего Приамурья.

На схеме мощности коры Буреинский ороген выделяется как прогиб поверхности Мохо, в котором мощность коры возрастает от ~36 до ~40 км. (рис. 4 в). Этот прогиб вытянут почти меридионально и с трех сторон обрамляется поднятиями границы М, в которых мощность коры уменьшается до 34 км. По данным регионального моделирования, литосферная мантия в районе орогена насыщена зонами разуплотнения. Утолщение коры, которое отвечает Буреинскому орогену, по своей морфологии и пространственным характеристикам совершенно аналогично утолщению коры под Сихотэ-Алинским орогеном (рис. 4 в). Это две главные орогенные структуры в южной части Дальнего Востока, геодинамически активные в настоящее время.

### **Позиция орогена в морфотектонике Нижнего Приамурья**

Красноречивое отражение позиция и структурные особенности Буреинского орогена находят в рельефе региона, где ему отвечает Турано-Буреино-Баджальское горное сооружение [6]. Учитывая особенности орографии, оно подразделяется на две части. На западе доминируют крупные протяженные горные хребты северо-восточного направления: Селемджинский, Турана, Буреинский, Баджальский (рис. 5). Три последних хребта субпараллельны друг другу, и их ориентировка наследует простирание разломов суперсистемы Тан-Лу. Короткие низкогорные хребты восточной части региона: Магу, Чаятын и другие – сохраняют эту же северо-восточную ориентировку, подчеркивая ключевое значение разломов суперсистемы Тан-Лу в неотектонике всего региона.

Характер рельефа резко меняется в восточной части Буреинского орогенного сооружения (рис. 5). Расположенные здесь хребты: Ям-Алинь, Дуссе-Алинь, Эзоп – высокие, но короткие, а их простирание имеет меридиональную и северо-западную ориентировку. Вместе они формируют общее Ямалинское сводовое поднятие [40], которое ориентировано субмеридионально и поперечно к главным северо-восточным структурам. В пределах свода находятся 12 главных горных вершин Нижнего Приамурья, высота которых превышает 2000 м, причем высота 5 из них больше 2300 м. Именно здесь расположен центр Буреинского орогена, в котором происходит наиболее интенсивное воздымание и сосредоточена современная геодинамическая активность. Позиция Ямалинского свода вполне совпадает с интенсивным минимумом грави-

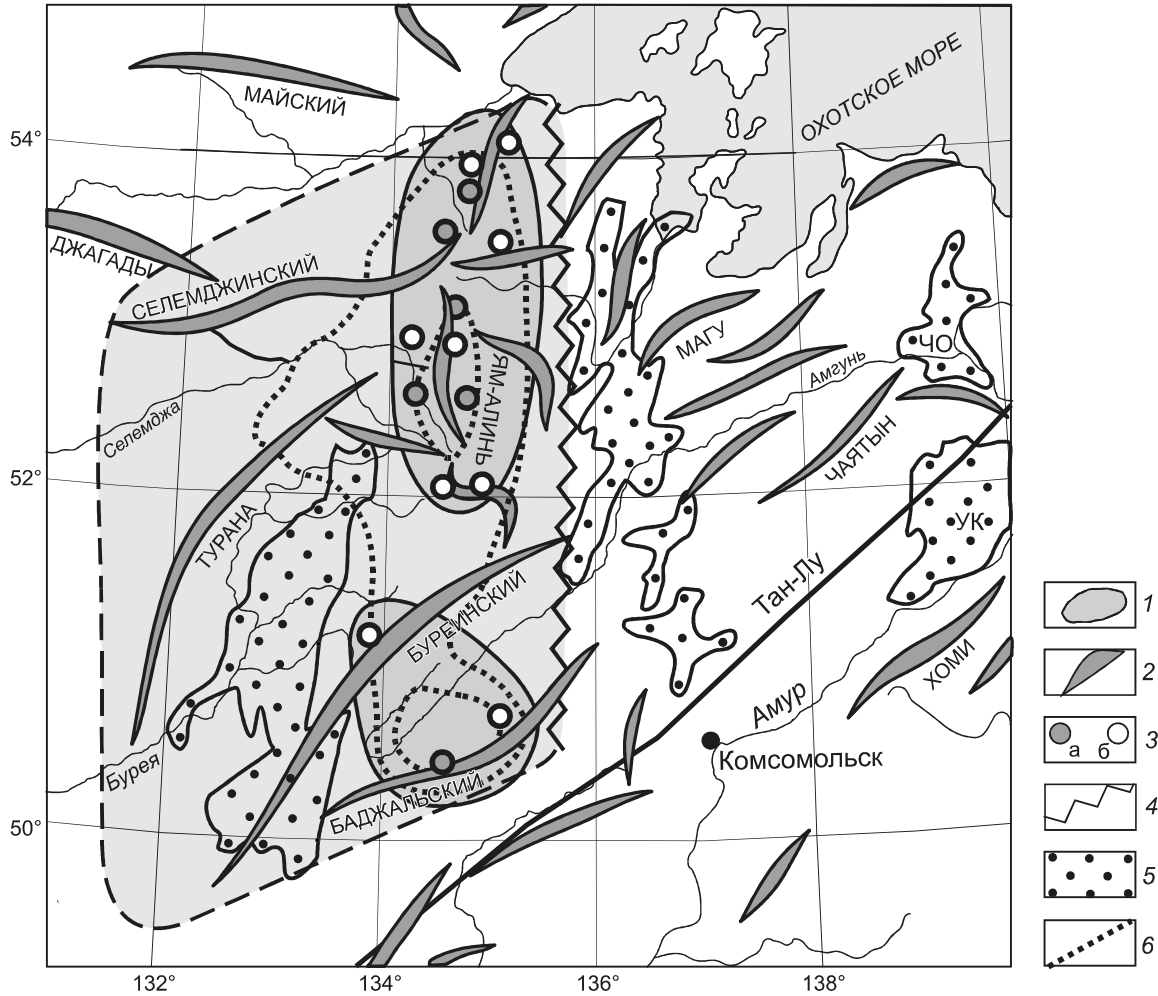
тационной аномалии (рис. 3 а), подчеркивая соответствие его глубинного и поверхностного строения.

Южный минимум гравитационной аномалии приурочен к центральным частям Буреинского и Баджальского хребтов. В этом районе находятся три другие вершины орогенного сооружения высотой выше 2000 м и выделяется второй свод в центральной части орогена. Двойное региональное поднятие отчетливо выражено в рельефе базисной поверхности, проведенной по минимальным отметкам рельефа [40]. Восточная граница орогенного поднятия подчеркнута субмеридиональным тектоническим уступом (рис. 5), который протягивается от Удской губы на севере и почти до реки Амур на юге [40]. В целом морфотектоника демонстрирует несомненную асимметрию горного сооружения с пологим западным крылом и высоким восточным сводом, который крутым эскарпом отделен от Тугур-Чукчагир-Эворонской меридиональной системы впадин. Такая же асимметрия в направлении с запада на восток наблюдается в густоте расположения аномалий гравитационного поля (рис. 3 а). Эта особенность имеет принципиальное значение, по нашему мнению, для понимания как генезиса, так и современной геодинамики Буреинского орогена.

К востоку от меридиональной Тугур-Чукчагир-Эворонской системы впадин и параллельно ей протягивается Нижнеамурская система, которая объединяет Чля-Орельскую и Удиль-Кизинскую впадины [40]. На западе аналогичную ориентировку имеет удлиненный Буреинский осадочный бассейн. Хотя основная стадия развития последнего приходится на юрско-меловое время, однако в пределах бассейна по скважинам установлены также миоценовые отложения [6]. А меридиональное положение расположенных здесь неотектонических Верхнебуреинской и Тырминской впадин подчеркивает позицию еще одной кайнозойской зоны рифтогенеза. В целом морфотектоника Нижнего Приамурья демонстрирует закономерный ряд отрицательных и положительных форм рельефа. Он состоит из трех параллельных меридиональных впадин, находящихся на равном расстоянии друг от друга. Депрессии разделены двумя горными поднятиями, западное из которых, отвечающее центральной части Буреинского орогена, несомненно, играет доминирующую роль во всей морфотектонике Нижнего Приамурья.

### **РОЛЬ БУРЕИНСКОГО ОРОГЕНА В СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ**

Землетрясения Нижнего Приамурья обычно относятся к событиям слабой и умеренной интенсивности. За короткий период систематических наблюдений, начиная с конца девятнадцатого века, в регионе



**Рис. 5.** Позиция Буреинского орогена в морфоструктуре Нижнего Приамурья.

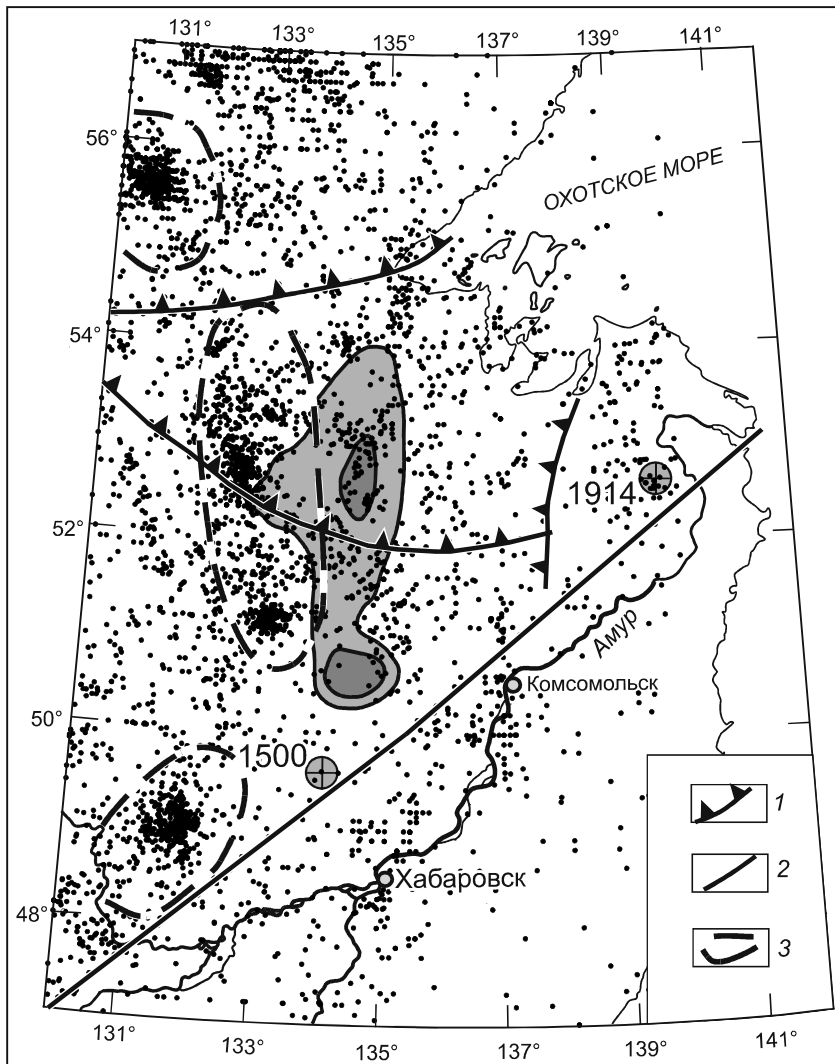
1 – горное сооружение орогена; 2 – главные хребты; 3 – горные вершины: а – высотой > 2300 м, б – высотой > 2000 м, оконтурены два сводовых поднятия орогена; 4 – Ямалинский тектонический уступ, по [40], 5 – система кайнозойских впадин (УК – Удыль-Кизинская, ЧО – Чля-Орельская, остальные – см. рис. 2), 6 – контур центра орогена по гравитационным данным, выделены две зоны минимума.

было зафиксировано лишь несколько десятков толчков с магнитудой  $M \geq 4.5$ . Самое сильное за последние 100 лет землетрясение магнитудой  $M = 6.0$  произошло 23.12.1914 г. в низовьях реки Амур (рис. 6), недалеко от г. Николаевск-на-Амуре. Эпицентр землетрясения расположен в зоне динамического влияния мегаразлома Тан-Лу, так же как предшествующее сильное событие 1500 г., предположительно, магнитудой  $M \sim 6.5$ . Высокая геодинамическая активность мегазоны Тан-Лу подтверждается китайскими сейсмологами [59], которые нашли прямые доказательства голоценовых землетрясений магнитудой  $M \geq 7.0$  в разломе Илань-Итун.

Если использовать параметры всех доступных землетрясений, то эпицентральное поле Нижнего Приамурья демонстрирует выраженный рассеянный

и незакономерный характер (рис. 6). Даже мегазона Тан-Лу не находит явного отражения в распределении землетрясений. Не выражены в сейсмичности литосферные разделы, ограничивающие Сибирский кратон и Монголо-Охотский тектонический пояс. Единственная, но важная структурная особенность площадного распределения проявляется в существовании трех кластеров концентрации эпицентров на западе региона (рис. 6). В первом приближении эти кластеры могут быть объединены в изогнутую на восток зону меридионального направления. Как особый сейсмогенный линеймент она была впервые выделена, по-видимому, В.Е. Кузнецовым в качестве зоны сжатия на фронте литосферной пластины, надвинутой в восточном направлении [17, 28]. По мнению К. Маккея, именно в этом направлении, а не вдоль р. Амур, как





**Рис. 6.** Особенности эпицентрального поля Нижнего Приамурья.

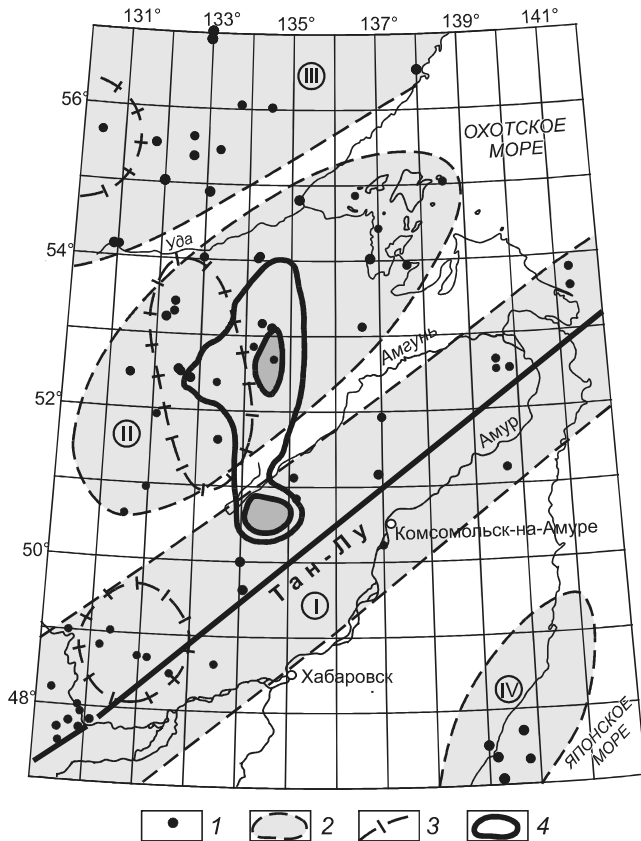
Серым тоном показана гравитационная аномалия в центральной части Буреинского орогена в соответствии с рис. 3 А. Точки – эпицентры коровых землетрясений магнитудой  $M \geq 2.0$  за период 1940–2011 гг.; отдельно показаны самые сильные землетрясения 1500 и 1914 гг. 1 – границы Сибирской платформы и Монголо-Охотского тектонического пояса; 2 – мегаразлом Тан-Лу; 3 – кластеры в распределении эпицентров землетрясений.

общепринято, проходит мегазона Тан-Лу [49]. В последнее время эта полоса концентрации эпицентров все чаще используется для проведения восточной границы Амурской плиты [13, 14, 23]. Слабостью подобных интерпретаций является отсутствие реальной тектонической структуры, активизация которой могла бы объединить три кластера в единую сейсмогенную зону.

Появление и позиция трех кластеров, в которых сосредоточены землетрясения, обусловлены, по нашему мнению, геодинамически активными структурами Нижнего Приамурья (рис. 6). Южный максимум ( $\sim 49^\circ$  с.ш.,  $\sim 132^\circ$  в.д.), несомненно, приурочен к мегаразлому Тан-Лу. Центральный кластер концентрации эпицентров, вытянутый субмеридионально вдоль  $\sim 133^\circ$ , явно с запада обрамляет центральную часть Буреинского орогена. В этом кластере даже легко наметить два максимума эпицентров, отвечающих двум центрам сжатия орогена, которые выделяются как в

рельефе, так и в аномалиях гравитационного поля. Третий кластер эпицентров находится уже на Сибирском кратоне ( $\sim 55.5^\circ$  с.ш.,  $\sim 130.5^\circ$  в.д.), и землетрясения здесь относятся к Становому сейсмическому поясу. Как на юге Нижнего Приамурья, в мегазоне Тан-Лу, так и в центре, у границы Буреинского орогена, районы концентрации землетрясений смещены к западу относительно тектонических структур. Такая особенность явно предполагает, что активизация геодинамической и сейсмической активности в Нижнем Приамурье происходит под воздействием Амурской плиты, которая движется в восточном направлении.

Главные региональные зоны, в которых сосредоточивается основная активизация, хорошо выделяются в зональном распределении наиболее сильных землетрясений магнитудой  $M \geq 4.0$  (рис. 7). В южной части Дальнего Востока обнаруживаются четыре сейсмические зоны, две из которых расположены в Нижнем Приамурье. Первая зона, «Приамурская», по



**Рис. 7.** Сейсмическая зональность Нижнего Приамурья (по анализу землетрясений с  $M \geq 4.5$  за период 1888–2011 гг.).

1 – эпицентры землетрясений; 2 – сейсмические зоны: I – Приамурская, II – Буреинская, III – восточная часть Станового пояса, IV – Совгаванская; 3 – кластеры распределения эпицентров по рис. 6; 4 – центр Буреинского орогена в аномалиях гравитационного поля.

[36, 37], хорошо известна, протягивается вдоль мега-разлома Тан-Лу и, несомненно, связана с ним генетически. Положение второй сейсмической зоны Нижнего Приамурья, удобно называть ее «Буреинской», очевидно, прямо связано с главным северным центром орогена, в котором происходит самый сильный подъем и где выделяется самая интенсивная часть региональной аномалии гравитационного поля отрицательного знака. По количеству землетрясений магнитудой  $M \geq 4.0$ , зафиксированных за последние ~100 лет, «Буреинская» зона не уступает «Приамурской». Двум выделенным сейсмическим зонам отвечают южный и центральный кластеры землетрясений (рис. 7), что подчеркивает единую природу сейсмической активности в регионе. Такое же соответствие характерно для третьей сейсмической зоны, расположенной на краю Сибирского кратона. Подчеркнутые особенности предполагают, что сильные землетрясения в центральной части Нижнего Приамурья вызваны дефор-

мациями, возникающими при подъеме Буреинского орогена. С этим же вертикальным процессом, видимо, связано смещение гипоцентров толчков снизу вверх, с одновременным уменьшением их магнитуды, ранее обнаруженное в Нижнем Приамурье при детальном мониторинге сейсмичности 1983–2002 гг. [6].

### ОБСУЖДЕНИЕ

Два общерегиональных процесса, дополняя и сменяя друг друга во времени и пространстве, определяли тектоническую эволюцию Нижнего Приамурья на протяжении конца мезозоя и в кайнозое. В первой половине мела завершались процессы аккреции в Сихотэ-Алинском регионе, происходила его окончательная консолидация и постепенный переход к внутриплитному режиму развития. К началу мела прекратил существование Монголо-Охотский океан, и последний эпизод аккреции в регионе, датируемый поздним аптом-ранним альбом [11], был целиком вызван воздействием Тихоокеанской литосферы на край континента.

Одновременно с аккреционной консолидацией восточного края Евразийской плиты к концу юры заметную роль начинает играть второй общий процесс – растяжение и сползание восточной окраины Азии в сторону океана, который наиболее ярко проявился в формировании обширных осадочных бассейнов континентальной окраины [6, 46, 54]. Этот своеобразный рифтогенез развивался в несколько стадий и охватывал огромные территории на окраине Азии, смещаясь со временем с запада на восток. Систематическая миграция в этом же направлении юрско-мелового магматизма, хорошо документированная как на территории России, так и Китая, показывает, что процессами растяжения была охвачена не только кора, но и литосферная мантия континента. Обширные поля преимущественно неоген-четвертичных щелочных и толеитовых базальтов, широко распространенные в Сихотэ-Алинском регионе и Нижнем Приамурье, отражают завершающую стадию этого рифтогенеза, который развивался с конца мезозоя, последовательно смещаясь в сторону Тихого океана.

### Происхождение и возраст Буреинского орогена

Закономерное положение Буреинского орогена в области сочленения главных аккреционно-складчатых поясов, его несомненная связь с разломами мега-зоны Тан-Лу предполагают, что образование орогена связано с финальными перемещениями, завершающими период тихоокеанской аккреции на окраине континента. Важнейшим элементом формирования региона была трансляция тектонических блоков вдоль окраины Азии по субпараллельным левым сдвигам

мегазоны Тан-Лу. Максимальные перемещения в зоне разломов Тан-Лу происходили в юрско-меловое время под воздействием косой субдукции Тихоокеанских плит на окраину континента. Закономерная позиция Буреинского орогена относительно главных разломов суперсистемы Тан-Лу – Хинганского, Мельгинского, Западно-Туранского – показывает (рис. 2), что он формировался, по всей видимости, как структура сжатия на завершающем этапе региональных тектонических перемещений.

Последний период отчетливых левосдвиговых деформаций в центральной и северной частях Тан-Лу датируется палеоценом–эоценом [18, 60]. По всей видимости, именно тогда при нагнетании деформаций в сдвиговой суперсистеме Тан-Лу сформировалась область литосферного сжатия Буреинского орогена. Непосредственно к юго-западу, как показывают термохронологические исследования апатита, в этот период, ~67–47 млн лет назад, происходил быстрый подъем и эксгумация горного хребта Большой Хинган [48]. В эту же орогенную фазу с палеоцена начинаются поднятие и эрозия в осадочном бассейне Сунляя, которые привели к появлению продолжительного перерыва в стратиграфической последовательности [56].

Усиление сдвиговых перемещений в начале кайнозоя сопровождалось заметным поперечным растяжением. В грабене Илань-Итун мощность эоцен-олигоценых отложений составляет, к примеру, более 3000 м [58]. Другим детально изученным примером пулл-апарт структур в мегасистеме Тан-Лу является бассейн Фушунь на СВ Китая [50]. Его образование, как показал споропыльцевой анализ, началось в палеоцене (59–65 млн лет) и закончилось в конце эоцена (39–30 млн лет). Скорость осадконакопления была максимальной в интервале ~45–39 млн лет, возможно именно в этот момент активность СВ перемещений в мегасистеме Тан-Лу была максимальной. В Среднеамурской впадине, примыкающей с юга к Буреинскому орогену, в условиях эоценовой трансформации формировались многочисленные полуграбены, ориентировка которых совпадает с простираем мегаразлома Тан-Лу [29]. К востоку от Буреинского орогена параллельно с активизацией левосторонних сдвигов в начале кайнозоя произошло заложение меридиональных впадин, возраст осадков в основании которых явно древнее олигоцена [18, 29].

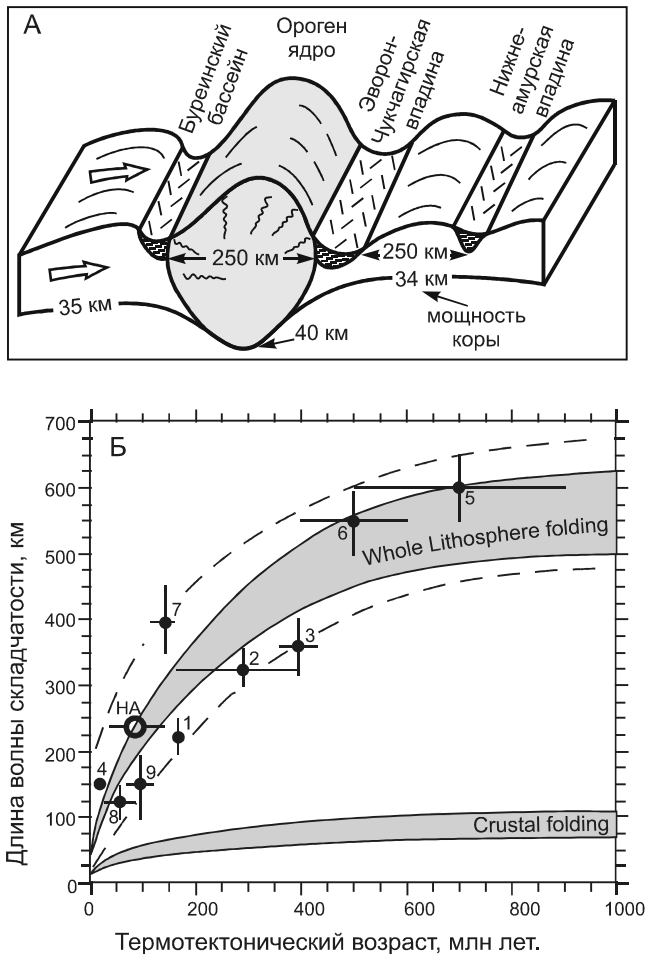
По всей видимости, именно на этапе интенсивных деформаций в начале кайнозоя при завершении тектонических перемещений в системе Тан-Лу произошло образование Буреинского орогена. К этому времени уже сформировалась область тройного сочленения главных тектонических поясов: Монголо-Охотского, Центрально-Азиатского и Тихоокеанского

(рис. 2). Эта аномальная структура оказалась наиболее удобным местом концентрации деформаций, которые транслировались по сдвигам системы Тан-Лу, своеобразным фокусом накопления сжатия в литосфере.

### Модель литосферной складчатости

Традиционные подходы к пониманию неотектоники Нижнего Приамурья исходят из господствующей роли рифтогенных процессов на востоке Азии. Кайнозойские деформационные структуры региона в этом контексте выступают в качестве важнейшего элемента грандиозной рифтовой системы окраины континента, известной под разными названиями: «Восточно-Азиатского грабенового пояса», «Уссурийско-Охотской зоны рифтогенеза» и т.д. [4, 16, 29, 30]. Эти представления акцентируют внимание преимущественно на группах впадин растяжения Приамурья, прежде всего Эворон-Чукчагирской и Нижнеамурской-Удыль-Кизинской. Существование и тектонический генезис Буреинского орогена в рамках рифтогенных представлений не рассматриваются.

Приведенные выше данные не только по поверхностному, но и глубинному строению, напротив, доказывают, что именно Буреинский ороген является доминирующей структурой и именно его образование было ведущим процессом в раннекайнозойской тектонике региона. Нельзя исключить, конечно, что процессы, с одной стороны, горизонтального сжатия, которые завершали мезозойско-кайнозойскую эволюцию сдвиговой суперсистемы Тан-Лу и, с другой, рифтогенного разрушения континентальной окраины развивались независимо друг от друга. В этом случае Буреинский ороген и кайнозойские рифтогенные впадины Нижнего Приамурья, имея разную тектоническую природу, формировались самостоятельно. Однако впадины растяжения и Буреинский ороген не только близки по возрасту, но и строго параллельны друг другу. Расстояние между Чля-Орель-Удыль-Кизинской и Эворон-Чукчагирской системами впадин в широтном направлении составляет 240–250 км (рис. 5). На таком же расстоянии далее к западу расположен меридиональный Буреинский осадочный бассейн, где осадконакопление продолжалось в кайнозое в пределах Тырминской и Верхнебуреинской впадин. Меридионально вытянутая центральная часть Буреинского орогена удалена от параллельной ей Эворон-Чукчагирской впадины на 120–130 км. Очевидно, что рифтогенные впадины занимают закономерное положение относительно Буреинского орогена (рис. 8 а), что свидетельствует в пользу общего тектонофизического механизма, результатом которого было формирование системы, объединяющей как синклинали, так и антиклинали структуры Нижнего Приамурья.



**Рис. 8.** Нижнеамурская система литосферных складок.

А – модель пространственной связи Буреинского орогена и осадочных впадин региона. Большими стрелками показано горизонтальное сжатие; Б – корреляция длины волны при литосферной складчатости с термотектоническим возрастом литосферы. Серые зоны показаны в соответствии с теоретическими оценками, по [43]. Кружки – примеры литосферной складчатости в регионах: НА – Нижний Амур, 1 – Тянь-Шань, 2 – Западная Гоби, 3 – Центральная Азия, 4 – Западные Гималаи, 5 – Центральная Австралия, 6 – Русская платформа, 7 – юг Каспийского бассейна, 8 – восток Черного моря, 9 – запад Черного моря. Параметры региональной складчатости – по [44].

Современные теоретические и региональные исследования обнаружили [43–45, 51, 55], что в строении тектоносферы широкое распространение имеют литосферные складки с длиной волны 30–600 км, которые образуются при горизонтальном сжатии. По-видимому, А.М. Никишиным впервые указано на возможное участие литосферной складчатости в морфотектонике юга Дальнего Востока [25]. Можно предполагать, что в результате горизонтального сжатия, вызванного заключительными перемещениями вдоль сдвигов мегазоны Тан-Лу, произошло образование системы литосферных складок Нижнего Приамурья,

в которой центральная меридиональная часть Буреинского орогена занимает закономерное положение (рис. 8 а). В этом случае Буреинский осадочный бассейн в кайнозойских границах, Эворон-Чукчагирская и Нижнеамурская-Удыль-Кизинская впадины являются синкомпрессионными депрессиями. Длина волны в Нижнеамурской системе складок составляет порядка ~ 240–250 км.

Как показывают результаты теоретического моделирования [43, 44], длина волны литосферной складчатости прямо зависит от термотектонического возраста региона, когда происходило становление и заключительный разогрев его литосферы. Для Нижнего Приамурья в качестве реалистичной оценки этого параметра можно взять широкий интервал 140–40 млн лет, в котором, по всей видимости, началось и завершилось становление литосферы Нижнего Приамурья. Характеристики литосферной складчатости Нижнего Приамурья хорошо согласуются (рис. 8 б) как с теоретическими построениями, так и с параметрами региональной складчатости других регионов. Более поздние процессы рифтогенеза, под нарастающим влиянием которых восточная окраина континента находилась с конца эоцена, наследовали, естественно, зоны прогибания и утонения коры, возникшие при литосферной складчатости.

### Позднекайнозойская активизация Буреинского орогена

В длительной тектонической истории мегазоны Тан-Лу господствующую роль играли левосдвиговые деформации, связанные с косою субдукцией Тихоокеанских плит под окраину Азии. Левосдвиговое поле напряжений оставалось главным в регионе и на палеоцен-эоценовом этапе при образовании Буреинского орогена. Такой характер деформаций согласуется с северо-западной траекторией движения тихоокеанских плит в конце мела–начале кайнозоя [53, 57]. Радикальная смена кинематики в мегасистеме Тан-Лу произошла в конце миоцена, когда поле напряжений приобрело правосдвиговый характер [18, 29]. Вероятно, в это время Нижнеамурский регион попал под воздействие западного сжатия, вызванного перемещением Амурской плиты в северо-восточном направлении. Началась активизация региона, центральным тектонофизическим процессом которой стал асимметричный подъем Буреинского орогена. Расположение зоны сильных землетрясений над центром орогена показывает, что эта глубинная структура трансформирует горизонтальный стресс в вертикальный подъем. Происходит своего рода «взламывание» коры, что вызывает усиление сейсмической активности в регионе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный анализ тектонических, геофизических и геоморфологических данных выявил ключевую роль Буреинского орогена как в строении Нижнего Приамурья, так и в его современной активизации. Результаты сейсмического и плотностного моделирования показывают, что в регионе находится аномальная область литосферного разуплотнения, в которой граница Мохо опускается до 40 км. Позиция и контур утолщения коры закономерно совпадают с интенсивной отрицательной аномалией гравитационного поля и положением горного свода, в котором сосредоточены все пики с высотой, превышающей 2000 м. Буреинский ороген образовался в области концентрации деформаций, приуроченной к району сочленения главных тектонических поясов окраины континента: Монголо-Охотского, Центрально-Азиатского и Сихотэ-Алинского (Тихоокеанского). В район пересечения литосферных разделов транслировалось горизонтальное сжатие, связанное с последним палеогеновым этапом перемещений вдоль тихоокеанской окраины Азии по системе северо-восточных сдвигов Тан-Лу. Важным элементом предполагаемой реконструкции стало образование меридиональных осадочных бассейнов Нижнего Приамурья. Они пространственно дополняют Буреинский ороген, объединяясь с ним в общую морфотектоническую систему разновозрастных элементов. Эта система параллельных впадин и поднятий могла сформироваться при горизонтальном сжатии в едином процессе литосферной складчатости.

Активизация Нижнего Приамурья произошла в миоцене под действием сжатия на фронте Амурской плиты, северо-восточное перемещение которой остается главным фактором напряженного состояния региона. Распределение наиболее сильных землетрясений региона магнитудой  $M \geq 4.5$  по площади структурировано, и эпицентры толчков сосредоточены в двух активизированных зонах северо-восточного простирания. Первая (Приамурская) расположена на юге региона и протягивается вдоль главного разлома сдвиговой мегасистемы Тан-Лу. Центральная сейсмическая зона (Буреинская) вызвана активизацией орогена, комплексная характеристика которого приведена в работе.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, по Программе фундаментальных исследований ДВО РАН «ДАЛЬНИЙ ВОСТОК» (грант ДВО РАН 15-И-2-014) и при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00097 а).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашурков А.П., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Лушнев А.В., Сорокин А.П., Серов М.А., Бызов Л.М. Кинематика Амурской плиты по данным GPS-геодезии // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 2. С. 299–311.
2. Бормотов В.А., Войтенко А.А. Закономерности миграции землетрясений Приамурья // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 2. С. 51–60.
3. 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.
4. Варнавский В.Г., Малышев Ю.Ф. Восточно-Азиатский грабенный пояс // Тихоокеан. геология. 1986. № 3. С. 3–12.
5. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В. Геодинамика Евразии – тектоника плит и тектоника блоков // Геотектоника. 2004. № 1. С. 3–20.
6. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
7. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / Ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Малышев, Б.Г. Саксин. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 с.
8. Горкуша С.В., Морин А.О. Сейсмичность, блоковая делимость и тектонический стресс юга Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 1998. № 2. С. 42–50.
9. Горкуша С.В., Онухов Ф.С., Корчагин Ф.Г. Сейсмичность и неотектоника юга Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 1999. № 5. С. 61–68.
10. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.
11. Зябрев С.В., Мартынюк М.В., Шевелев Е.К. Юго-западный фрагмент Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса, Сихотэ-Алинь: стратиграфия, субдукционная аккреция и постаккреционные смещения // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24, № 1. С. 45–58.
12. Ивашинников Ю.К., Онухов Ф.С., Сазыкин А.М., Ставров В.Н. Сейсмологические и неотектонические особенности северо-восточного фланга Буреинского массива // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 4. С. 42–49.
13. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Николаев В.В., Семенов Р.М. Буферные сейсмогенные структуры между Евразийской и Амурской литосферными плитами на юге Сибири // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 55–61.
14. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сеймотектоника Олекмо-Становой сейсмической зоны (Южная Якутия) // Литосфера. 2005. № 2. С. 21–40.
15. Корчагин Ф.Г., Онухов Ф.С. Проблемы сеймотектоники Приамурья // Строение и эволюция востока Азии. II Косыгинские чтения. Хабаровск, 1999. С. 297–301.
16. Красный Л.И. Геология региона Байкало-Амурской магистралей. М.: Недра, 1980. 160 с.
17. Кузнецов В.Е. Глубинное строение и современная геодинамика Приамурья // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 2. С. 61–67.
18. Кудымов А.В. Кайнозойские поля напряжения в зоне Киселевского разлома Нижнего Приамурья // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 6. С. 49–56.
19. Левин Б.В., Ким Чун Ун, Нагорных Т.В. Сейсмичность Приморья и Приамурья в 1888–2008 гг. // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 6. С. 16–22.
20. Логачев Н.А., Врублевский А.А., Николаев В.В., Семенов Р.М. Сеймотектоника востока России и сейсмичность Приамурья // Вестн. ДВО РАН. 1999. № 3. С. 113–125.

21. Малышев Ю.Ф. Глубинное строение, геодинамика и сейсмичность в области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского подвижных поясов // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 2. С. 18–27.
22. Малышев Ю.Ф., Подгорный В.Я., Шевченко Б.Ф., Романовский Н.П., Каплун В.Б., Горнов П.Ю. Глубинное строение структур ограничения Амурской литосферной плиты // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 2. С. 3–17.
23. Мирошниченко А.И., Сорокин А.П., Саньков В.А., Лухнев А.В., Ашурков С.В., Сорокина А.Т., Панфилов Н.И., Серов М.А., Шерман С.И. Космическая геодезия в задачах геодинамики: современные движения в Зейско-Буреинском бассейне // Тихоокеан. геология. 2008. Т. 27, № 1. С. 71–79.
24. Натальин Б.А., Борукаев Ч.Б. Мезозойские сuture на юге Дальнего Востока СССР // Геотектоника. 1991. № 1. С. 84–97.
25. Никишин А.М. Тектонические обстановки. Внутриплитные и окраинноплитные процессы. М.: Изд-во МГУ, 2002. 366 с.
26. Николаев А.В., Семенов Р.М., Солоненко В.П. Сейсмогеология Монголо-Охотского линеамента (восточный фланг). Новосибирск: Наука, 1979. 112 с.
27. Николаев В.В. Тан-лу-Курский разлом: структура фундамента и сейсмичность. Проблемы тектоники, энергетические и минеральные ресурсы Северо-Западной Пацифики. Хабаровск: ДВО АН СССР, 1992. С. 81–91.
28. Николаев В.В., Врублевский А.А., Ахмадулин В.А., Кузнецов В.Е. Геодинамика и сейсмическое районирование материковой части Дальнего Востока. Владивосток: ДВО РАН, 2000. 90 с.
29. Пересторонин А.Н., Развозжаева Е.П. Система кайнозойских депрессий Приамурья и Приморья: строение, тектоническая позиция и геодинамическая интерпретация // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 2. С. 58–74.
30. Песков Е.Г., Мигович И.М. Окраинно-континентальная рифтовая система на северо-востоке Азии // Геология и геофизика. 1980. № 2. С. 11–18.
31. Петрищевский А.М. Связь сейсмичности с плотностными неоднородностями литосферы Дальнего Востока России // Вулканология и сейсмология. 2007. № 6. С. 60–71.
32. Петров А.В., Юдин Д.Б., Хоу С. 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.
33. Попеко Л.И. Карбон Монголо-Охотского орогенного пояса. Владивосток: Дальнаука, 2000. 124 с.
34. Сейсмоструктура и сейсмическое районирование Приамурья / Ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1989. 128 с.
35. Соловьев С.Л. Основные сейсмические зоны Приамурья и Приморья. // Геология и геофизика. 1980. № 9. С. 9–19.
36. Степашко А.А. Глубинные основы сейсмоструктуры Дальнего Востока: Сахалинская зона // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 3. С. 50–63.
37. Степашко А.А. Глубинные основы сейсмоструктуры Дальнего Востока: Приамурская и Приморская зоны // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 1. С. 3–15.
38. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанских поясов: Объясн. зап. к Тектонической карте м-ба 1: 1 500 000. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 264 с.
39. Уфимцев Г.Ф. Тектонический анализ рельефа, на примере Востока СССР. Новосибирск: Наука, 1984. 183 с.
40. Уфимцев Г.Ф., Алексеенко С.Н., Онухов Ф.С. Морфотектоника Нижнего Приамурья // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 6. С. 81–93.
41. Худяков Г.И. Геоморфотектоника юга Дальнего Востока. М.: Наука, 1977. 55 с.
42. Barth A., Webzel F. New constraints on the intraplate stress field on the Amurian plate deduced from light earthquake focal mechanisms // Tectonophysics. 2010. V. 482. P. 160–169.
43. Cloetingh S., Burov E., Poliakov A. Lithosphere folding: Primary response to compression? (from central Asia to Paris basin) // Tectonics. 1999. V. 18, N. 6. P. 1064–1083.
44. Cloetingh S., Burov E. Lithospheric folding and sedimentary basin evolution: a review and analysis of formation mechanisms // Basin Res. 2011. V. 23. P. 257–290.
45. Delvaux D., Cloetingh S., Beekman F., Sokoutis D., Burov E., Buslov M.M., Abdрахmatov K.E. Basin evolution in a folding lithosphere: Altai-Sayan and Tien Shan belts in Central Asia // Tectonophysics. 2013. V. 602. P. 194–222.
46. Graham S.A., Cope T., Johnson C.L., Ritts B. Sedimentary basins of the late Mesozoic extensional domain of China and Mongolia // Phanerozoic rift systems and sedimentary basins. Elsevier, 2012. P. 443–461.
47. Heki K., Miyazaki S., Takahashi H., Kasahara M., Kimata F., Miura S., Vasilenko N. F., Ivashchenko A., An K.-D. The Amurian Plate motion and current plate kinematics in eastern Asia // J. Geophys. Res. 1999. V. 104, N B12. P. 29147–29155.
48. Li X., Yang X., Xia B., Gong G., Shan Y., Zeng Q., Li W., Sun W. Exhumation of the Dahinggan Mountains, NE China from the Late Mesozoic to the Cenozoic: New evidence from fission-track thermochronology // J. Asian Earth Sci. 2011. V. 42. P. 123–133.
49. Mackey K. G., Fujita K., Gounbina L. V., Koz'min B.M., Imaev V.S., Imarva L.P., Sedov B.M. Explosion contamination of the Northeast Siberian seismicity catalog: implications for natural earthquake distributions and location of the TanLu Fault in Russia // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2003. V. 93, N 2. P. 737–746.
50. Meng Q., Liu Z., Bruch A.A., Liu R., Hu F. Paleoclimatic evolution during Eocene and its influence on oil shale mineralization, Fushun basin, China // J. Asian Earth Sci. 2012. V. 45. P. 95–105.
51. Nikishin A.M., Cloetingh S., Lobkovsky L.I., Burov E.B., Lankreijer A.C. Continental lithosphere folding in Central Asia (P. 1): Constraints from geological observations // Tectonophysics. 1993. V. 226, N 1–4. P. 59–72.
52. Petit C., Fournier M. Present-day velocity and stress field of the Amurian Plate from thin-shell finite-element modelling // Geophys. J. Int. 2005. V. 160. P. 357–369.
53. Rea D.K., Duncan R.A. North Pacific plate convergence: A quantitative record of the past 140 m.y. // Geology. 1986. V. 14. P. 373–376.
54. Ren J., Tamaki K., Li S., Junxia Z. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas // Tectonophysics. 2002. V. 344. P. 175–205.
55. Smit J.H.W., Cloetingh S.A.P.L., Burov E., Tesauro M., Sokoutis D., Kaban M. Interference of lithospheric folding in

- western Central Asia by simultaneous Indian and Arabian plate indentation // *Tectonophysics*. 2013. V. 602. P. 176–193.
56. Song Y., Ren J., Stepashko A.A., Li J. Post-rift geodynamics of the Songliao Basin, NE China: Origin and significance of T11 (Coniacian) unconformity // *Tectonophysics*. 2014. V. 634. P. 1–18.
57. Song Y., Stepashko A.A., Ren J. The Cretaceous climax of compression in Eastern Asia: Age 87–89 Ma (Late Turonian/Coniacian), Pacific cause, continental consequences // *Cretaceous Res.* 2015. V. 55. P. 262–284.
58. Tian Z., Du Y. Formation and evolution of the Yilian-Yitong graben // *Tectonophysics*. 1987. V. 133. P. 165–173.
59. Wei M., Liu Y., Jao D., Shen J., Xiaolong P. Evidence for Holocene activity of the Yilan-Yitong fault, northeastern section of the Tan-Lu fault zone in Northeast China // *J. Asian Earth Sci.* 2013. V. 67–68. P. 207–216.
60. Yu Z., Wu S., Zou D., Feng D., Zhao H. Seismic profiles across the middle Tan-Lu fault zone in Laizhou Bay, Bohai Sea, eastern China // *J. Asian Earth Sci.* 2008. V. 33. P. 383–394.

*Рекомендована к печати В.Г. Быковым*

### *A.A. Stepashko, T.V. Merkulova*

#### **Deep structure, origin and seismic activation of the Bureya orogen, the Russian Far East**

The Bureya orogen is attached special importance among the geodynamic drivers that cause increased seismicity in Lower Priamurye. Its location and deep structure have been studied based on the complex of the geophysical and tectonic data. The orogen is represented by a lithospheric area with lower density which is manifested by intense negative gravity anomaly and accompanied by downwarp of the Moho boundary to 40 km depth. Currently, this lithospheric structure uprises forming the meridional dome where the highest mountain peaks, more than 2000 m, are concentrated. The definite position occupied in the regional structure suggests that the Bureya orogen formed in the Paleogene during the final translation of tectonic blocks along the Pacific margin that occurred over the northeastern strike-slip faults of the Tan-Lu fault zone. Compression was accumulated in the peculiar area where the main tectonic belts of the region: the Central Asian, Mongol-Okhotsk, and Sikhotealin ones are conjugated. There are elongated sedimentary depressions which are arranged in the parallel system with the meridional dome of the Bureya orogen, and have the Cenozoic age. A united morphotectonic structure could have been formed as a result of the lithospheric folding due to Paleocene-Eocene horizontal compression. The wavelength of the Lower Amur fold system is 250 km which is consistent with the theoretical estimates and well-known examples of the lithospheric folds in other regions. The recent activation of the Bureya orogen began in the Miocene due to the Amurian plate motion in the northeastern direction. As a result of compression, the meridional cluster of weak earthquakes with  $M \geq 2.0$  has been formed along the western border of the orogenic dome. The most intense deformations in the region demonstrate another seismicity pattern induced by the orogenic uplift during activation. Eventually, the “Bureya” seismic zone has been formed above the apical part of the orogenic dome where the strongest earthquakes with magnitude  $M \geq 4.5$  frequently occur.

**Key words:** deep structure, morphotectonics, seismicity, lithospheric folding, Amur plate dynamics, Tan-Lu fault zone, Bureya orogen, Far East of Russia.