

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА
АМУРСКОЙ ПЛИТЫ В ДВУХ ФАЗАХ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

С. В. Трофименко^{1,2}

¹ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: trofimenko_sergei@mail.ru

²ФГАОУ ВПО Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, ул. Беллинского 58, г. Якутск, 677000

Поступила в редакцию 12 декабря 2015 г.

Проведен анализ пространственного распределения эпицентров и гипоцентров землетрясений в интервале магнитуд $2 \leq M < 6$ северо-восточного сегмента Амурской плиты в двух фазах изменения угловой скорости вращения Земли. Выделены группы сейсмических событий в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$ в виде сейсмических кластеров северо-восточного простирания, закономерно чередующихся вдоль широты. Сейсмические кластеры, протяженностью до 1500 км и шириной 180–240 км, охватывают сейсмические зоны с различными геодинамическими и сеймотектоническими условиями формирования сейсмичности. По распределениям эпицентров землетрясений в интервале магнитуд $2 \leq M \leq 4$ выделены зоны сейсмической активности в виде сейсмолинеаментов, замыкающих зоны сейсмичности Тан-Лу на восточные фланги широтных сейсмических зон. Предложена схема выделения зон сжатия и растяжения по пространственному группированию землетрясений в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$ в двух фазах изменения скорости Земли, которая показывает удовлетворительное согласие с моделью сеймотектонических реконструкций полей и осей сжатия-растяжения.

Ключевые слова: землетрясение, вращательное движение Земли, пространственные кластеры сейсмичности, зоны сжатия и расширения, Амурская плита, Дальний Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

В задачах по изучению модуляции сейсмического процесса периодическими возмущениями в отдельное направление можно выделить исследования динамики сейсмичности вследствие неравномерного вращения Земли вокруг своей оси.

В работах авторов [1, 3–5, 12, 13, 23, 24] установлены взаимосвязи сейсмичности с изменением угловой скорости вращения Земли, проведен анализ соотношений угловой скорости вращения Земли и повторяемости сильнейших землетрясений, определены зависимости и корреляционные связи между изменением угловой скорости вращения Земли и широтой, глубиной и энергией землетрясений.

Сопоставлением сейсмической активности (числа землетрясений) северо-восточного сегмента Амурской плиты с изменением модуля скорости вращения Земли, которая максимальна в январе и июле и минимальна в марте и сентябре [18], в годовых циклах установлена периодичность проявления макси-

мумов сейсмической активности для землетрясений в интервале магнитуд $2 \leq M < 4$ [38], равная удвоенной протяженности блоков земной коры [20].

Для интервала магнитуд $5 \leq M < 6$ показано [22], что эпицентры землетрясений группируются в кластеры по фазам увеличения и уменьшения модуля скорости вращения Земли, фактически, по двум фазам «сжатия-расширения» земной коры, так как при увеличении модуля скорости происходит сжатие Земли, при уменьшении – растяжение [24] и, как следствие, деформации земной коры.

Деформация земной коры в данном случае сопоставима с приливными деформациями, тем не менее, результаты исследований авторов [9–11] показывают, что «низкоамплитудные колебания могут оказаться одним из важных факторов, определяющих возникновение и развитие деформационных процессов в земной коре из-за нетривиального свойства блочной структуры – способности накапливать результаты воздействия ничтожных по величине силовых полей.

Эта возможность обусловлена нелинейностью деформационных характеристик межблоковых разломных зон в области малых деформаций».

Предварительные построения пространственных моделей сейсмичности северо-восточного сегмента Амурской плиты в двух фазах изменения скорости вращения Земли позволили выделить компактные группы сейсмических событий в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$, закономерно чередующиеся в пространстве [22].

В настоящей работе проведено сопоставление пространственного группирования эпицентров землетрясений в двух фазах изменения скорости вращения Земли в различных интервалах магнитуд на примере северо-восточного сегмента Амурской плиты с тектоническими и геодинамическими особенностями строения региона.

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭПИЦЕНТРОВ И ГИПОЦЕНТРОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ИНТЕРВАЛАХ МАГНИТУД
 $2 \leq M < 6$ В ФАЗАХ УВЕЛИЧЕНИЯ И УМЕНЬШЕНИЯ
СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ**

Область исследования пространственного распределения землетрясений охватывает северо-восточный сегмент Амурской плиты [6, 27] (рис. 1 б). По результатам сейсмологического анализа в пределах зоны взаимодействия Евразийской и Амурской литосферных плит авторами [7, 8, 30] определены сейсмогенные буферные структуры, современная сейсмическая активность которых контролируется землетрясениями с гипоцентрами на глубине от 5 до 60 км.

По сеймотектоническим признакам в данном сегменте Амурской плиты выделены 4 сейсмические области: 1) Темулякит-Джелтулакское (ТД) сгущение эпицентров землетрясений субдолготного простирания в полосе $(124-126)^\circ\text{ВД}$ (рис. 1 а), 2) Олекмо-Становая сейсмическая зона (ОСЗ) в пределах $(56-58)^\circ\text{СШ}$ и $(120-134)^\circ\text{ВД}$, которая сформирована динамическим взаимодействием кристаллических комплексов Алданского щита Сибирской платформы и Становой складчатой системы [31, 32] и трассируется полосой эпицентров землетрясений субширотного простирания от области меридиональных Темулякитских (Олекминских) разломов [33] до Удской губы Охотского моря, 3) Тукурингра-Джагдинская широтная сейсмическая зона (ТДЗ) в полосе $(53-55)^\circ\text{СШ}$ [30]; 4) Зона Тан-Лу. Распределение эпицентров слабых землетрясений северо-восточной и восточной границы исследуемой области в виде полей рассеянной и очаговой сейсмичности северо-восточного простирания [38] (зона Тан-Лу, рис. 1 а) формируется вследствие динамического взаимодействия Евразийской литосферной плиты с Амурской и Охотской коровыми плитами [6].

При проведении анализа сейсмической активности использованы каталоги Байкальского (<http://www.seisbykl.ru>), Сахалинского [16] филиалов Геофизической службы РАН, а также данные каталогов База данных «Землетрясения России». (URL: <http://eqru.gsras.ru/>), каталоги Геофизических служб США (http://earthquake.usgs.gov/data/russia_seismicity/regionalcatalogs/aldan.php) и Китая (<http://data.earthquake.cn/data/>).

Число землетрясений на изучаемой площади в координатах $(44^\circ-60^\circ)$ СШ и $(120^\circ-139^\circ)$ ВД составило: 3296 событий в фазе уменьшения скорости и 3381 событие в фазе увеличения скорости в интервале магнитуд $2 \leq M < 4$ и аналогично 53 и 49 исторических и инструментальных событий в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$, с глубиной гипоцентров $h < 60$, с учетом базы данных Геофизической службы Китая. На уровне 5 % значимости различия в количественном соотношении числа землетрясений в двух фазах изменения скорости вращения Земли по всей исследуемой области можно считать статистически не значимыми, так как амплитуда вариации не превышает (3–8) % и в среднем составляет ≈ 5 %.

На рис. 2 показано пространственное распределение эпицентров и гипоцентров землетрясений с магнитудами $2 \leq M < 4$ и $5 \leq M < 6$ в двух фазах: растяжения (рис. 2 а, б) и сжатия (рис. 2 в, г) земной коры. Землетрясения сгруппированы по интервалам в 6 месяцев «январь÷март + июль÷сентябрь» («1÷3 + 7÷9») и «апрель÷июнь + октябрь÷декабрь» («4÷6 + 10÷12»). В целом, распределения эпицентров идентичны друг другу. Однако более детальное рассмотрение приводит к следующему. Для Олекмо-Становой зоны (рис. 1 а) пространственная структура эпицентров в фазе расширения представлена практически непрерывным распределением в виде широкой (≈ 200 км) полосы, а в фазе сжатия данная область с меридиана 125°E расщепляется на две ветви, каждая из которых пространственно замыкается на две ветви сгущения эпицентров системы региональных разломов Тан Лу (рис. 2 в). Причем восточная ветвь сейсмической активизации Тан-Лу в фазе сжатия более выдержана по простиранию (компактна), а обе ветви рассечены субширотными зонами сейсмической активности, связанными с разломами более высокого порядка.

Для Тукурингра-Джагдинской широтной сейсмической зоны в фазе расширения (рис. 2 а) выделяется фрагмент сейсмической области юго-восточного простирания, который, как и в Олекмо-Становой сейсмической зоне замыкается на западный фрагмент системы Тан-Лу. На рис. 2 а и 2 в данные закономерности отражены в виде сейсмолинементов.

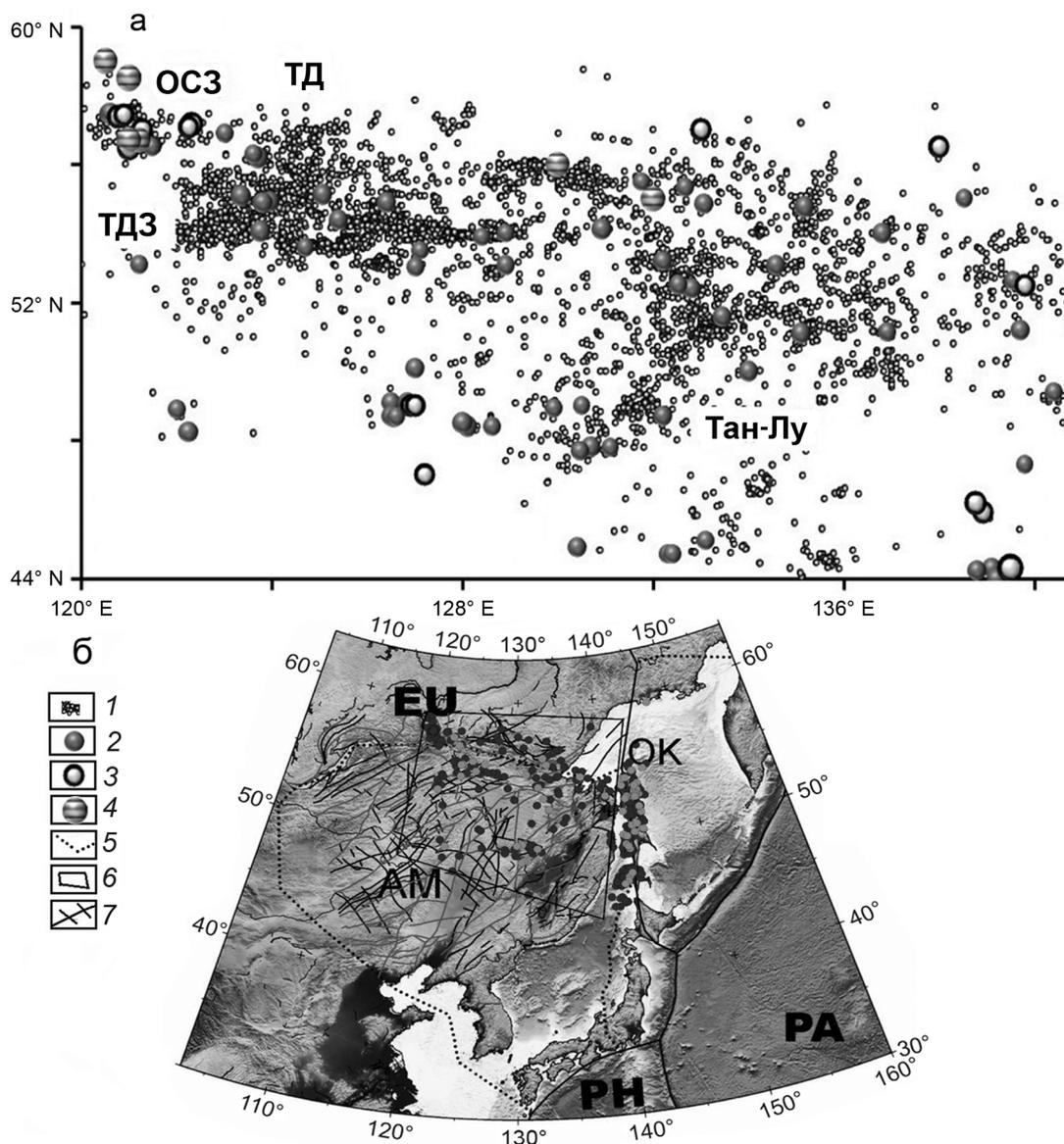


Рис. 1. Пространственное распределение эпицентров землетрясений континентальной части северо-восточного сегмента Амурской коровой плиты.

а: 1 – землетрясения с магнитудой $M \geq 3$ и глубиной $h < 60$; 2 – землетрясения с магнитудой $6 > M \geq 5$; 3 – землетрясения с магнитудой $M > 6$; 4 – дислокации, места исторических землетрясений. Сейсмические зоны: ОСЗ – Олекмо-Становая, ТДЗ – Тукурингра-Джагинская, ТД – Темулякит-Джелтулакское меридиональное сгущение эпицентров землетрясений; б: расположение Амурской плиты (АМ) относительно литосферных плит EU – Евразийской, ПА – Тихоокеанской, РН – Филиппинской и коровой (ОК) – Охотской; 5 – границы Амурской плиты; 6 – область моделирования сейсмической активности. На схеме показаны эпицентры землетрясений в интервале магнитуд $5 > M \geq 4$; 7 – разломы 1-го и 2-го порядков.

Пространственные распределения эпицентров землетрясений интервала магнитуд $5 \leq M < 6$ (рис. 2 а, в) в двух фазах скорости вращения Земли образуют компактные области – кластеры, последовательно чередующиеся вдоль широты. Протяженность кластеров вдоль долготы составляет 15° (более 1500 км) с северо-восточным простиранием, а средняя ширина кластеров на широте $56^\circ \text{N} - 3.5^\circ - 4^\circ$ (180–240 км).

Восточный кластер № 1 в диапазоне долгот $132^\circ \text{E} - 136^\circ \text{E}$ (рис. 2 а) сформирован эпицентрами землетрясений в фазе растяжения и контролируется восточным фрагментом сейсмолинеамента № 3 (рис. 2 в) северо-восточного простирания. В фазе растяжения здесь произошло восемь землетрясений (рис. 2 а), а в фазе сжатия – одно землетрясение в переходной области от ОСЗ к Тан-Лу (рис. 2 в).

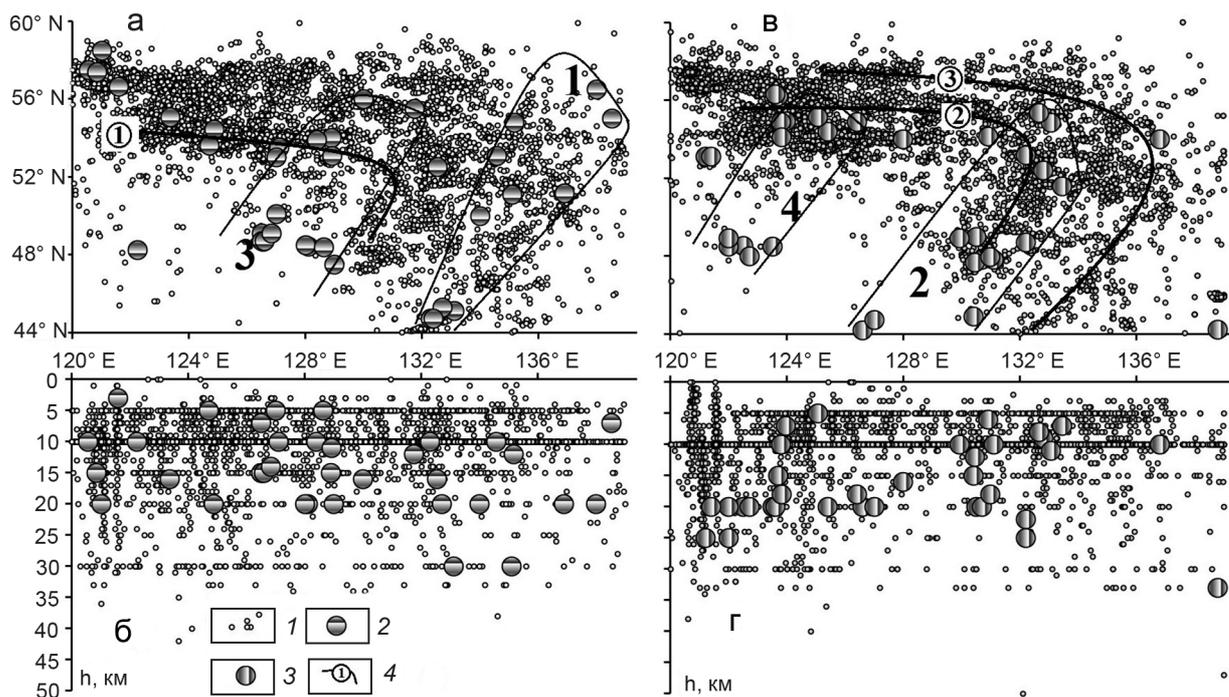


Рис. 2. Распределение эпицентров и гипоцентров землетрясений в двух фазах изменения скорости вращения Земли (расширения-сжатия земной коры).

а, б – фаза уменьшения скорости, расширения земной коры; в, г – фаза увеличения скорости, сжатия земной коры. 1 – распределение эпицентров землетрясений с магнитудами $2 \leq M < 4$, 2 – распределение эпицентров землетрясений в интервалах магнитуд $5 \leq M < 6$ в фазе расширения, 3 – пространственное положение эпицентров и гипоцентров землетрясений в фазе сжатия, 4 – предполагаемые сейсмолинеаменты и их номера. Цифрами 1–4 на рисунке обозначены кластеры группирования землетрясений в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$.

Западнее выделяется следующий кластер № 2 в диапазоне долгот 128 E–132 E (рис. 2 в) северо-восточного простирания, сформированный в фазе сжатия и пересекаемый фрагментом сейсмолинеамента № 2. Данный кластер объединяет 14 сейсмических исторических и инструментальных событий в фазе сжатия Земли и одно событие в фазе расширения в переходной области от Тан-Лу к ОСЗ (рис. 2 а).

Кластер № 3 (≈ 124 E–128 E) северо-восточного простирания объединяет 13 событий в фазе расширения (рис. 2 а). В северной части кластера два землетрясения пространственно относятся к переходной области от ОСЗ к Тан Лу, трассируемой изгибом сейсмолинеамента № 2. Три эпицентра землетрясений, пересекаемых сейсмолинеаментами № 1, можно отнести к переходной области от Тукурингра-Джагдинской широтной сейсмической зоны к зоне Тан Лу. Южная группа землетрясений из 7 событий объединяется с северной эпицентральной полем слабых землетрясений ($2 \leq M < 4$) северо-восточного простирания. В фазе сжатия (рис. 2 в) данная область слабых землетрясений отсутствует.

Кластер № 4 (≈ 120 E–124 E) северо-восточного простирания объединяет 13 землетрясений, произо-

шедших в фазе сжатия (рис. 2 в) и 4 события (рис. 2 а) в фазе расширения Земли. Пространственно северная и южная группы эпицентров контролируются эпицентрами слабых землетрясений, которые зарегистрированы в обеих фазах, но в фазе сжатия распределение эпицентров представлено более компактной областью.

Менее выдержанными являются структуры группирования гипоцентров землетрясений в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$ (рис. 2 б, г). Это может быть связано с двумя причинами технического порядка: во-первых, глубина гипоцентров определяется с точностью, на порядок меньшей точности определения долгот и широт, во-вторых, гипоцентры в данном случае вынесены на вертикальную плоскость, ориентированную вдоль широты, а сейсмические кластеры ориентированы в северо-восточном направлении. Тем не менее, границы кластеров, определенных по эпицентральному полю (рис. 2 а, в), можно экстраполировать в нижнее полупространство с вертикальным либо северо-западным углом падения (рис. 2 б, г).

Для распределения гипоцентров землетрясений в интервалах магнитуд $2 \leq M < 4$ можно отметить, что афтершоковые последовательности сейсмических событий вследствие быстрых тектонических процессов

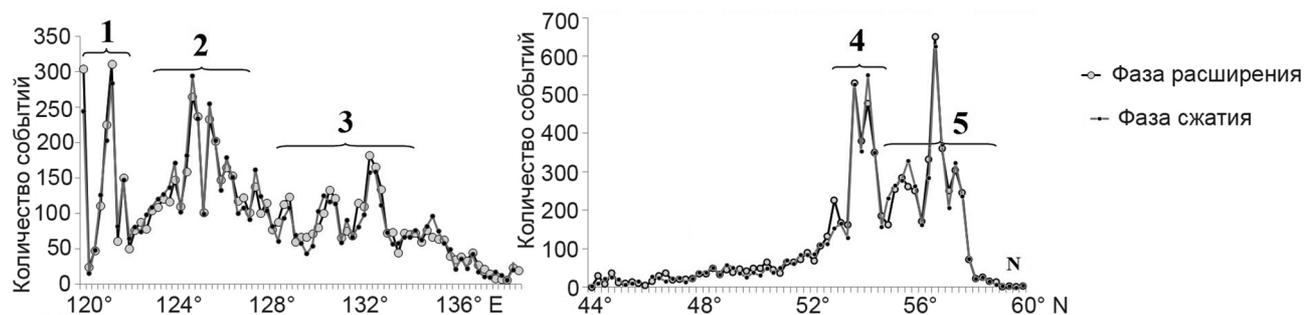


Рис. 3. Распределение количества землетрясений по долготе и широте по всей области исследования.

Выделены скобками максимумы количества событий сейсмических областей: 1 – западный фланг ОСЗ; 2 – Темулякит-Джелтулакская меридиональная зона; 3 – различные ветви сейсмической активизации системы Тан-Лу; 4 – Тукурингра-Джагдинская широтная сейсмическая зона; 5 – ветви Олекмо-Становой широтной сейсмической зоны.

релаксации напряжений в блоке земной коры после сильных землетрясений, которые можно наблюдать в левой части рис. 2 б, г в виде компактных вертикальных зон от поверхности до глубины 25–30 км, с одинаковой структурой реализуются как в фазе сжатия, так и в фазе расширения земной коры. Статистически значимое отклонение количества событий характерно для глубин от 10 до 15 км: для периода расширения данная область заполнена событиями практически равномерно, для периода сжатия восточнее долготы 124 Е наблюдается область затишья.

Статистические кривые распределений слабых землетрясений в интервалах магнитуд $2 \leq M < 4$ по долготе и широте (рис. 3) показывают, что наиболее активными в настоящее время являются Олекмо-Становая и Тукурингра-Джагдинская широтные сейсмические зоны, объединяемые Темулякит-Джелтулакским (ТД) сгущением эпицентров землетрясений субдолготного простирания [30]. Наиболее активным является западный фланг ОСЗ, от которого в восточном направлении активность снижается. Для широтных распределений характерно постепенное увеличение сейсмической активности от широты 44 N до широты 52 N. Два максимума Тукурингра-Джагдинской и три пика Олекмо-Становой широтных сейсмических зон свидетельствуют о наличии локальных ветвей (либо областей афтершоков) в их общих пространственных распределениях эпицентров землетрясений. Амплитуды максимумов в фазе расширения и сжатия Земли отличаются на 15 % и более, однако статистически закономерного отклонения по широте по всей области исследования не обнаружено. Небольшой сдвиг максимумов (на 0.5°) наблюдается в области (128–132) Е (область 3, рис. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Модель взаимодействия сейсмических зон ОСЗ и Тан-Лу впервые предложена в работе [30], в которой кинематика блока между широтными фрагментами

сейсмолинементов № 2 и № 3 определяется правым вращением с формированием левых сдвигов по широтным структурам, обрамляющим блок. Сейсмолинемент № 2 (рис. 2) совпадает пространственно с зоной тектонической активности [36], сформированной системой разломов Тан-Лу правосдвиговой кинематики.

В предлагаемой модели динамического взаимодействия трех сейсмических зон (Тан Лу, ОСЗ и ТДЗ) появляется возможность выделения зон сейсмической активности, разделенных по фазам изменения скорости вращения Земли. Для северо-восточного фрагмента Амурской плиты в фазе сжатия земной коры (ускорение вращения Земли) выделяются две зоны, расположенные зеркально-симметрично относительно меридиана 128 Е (рис. 4). В данных зонах (2, 3, рис. 4) все землетрясения произошли в фазе сжатия. Аналогично, в зонах 1 и 4 все землетрясения произошли в фазе растяжения земной коры вследствие замедления скорости вращения Земли.

Растяжение и сжатие земной коры вследствие изменения скорости вращения Земли в течение года по порядку величин сопоставимо с действием приливных сил [10]. Для приливных сил модуляция сейсмической активности исследована для всех сейсмоактивных зон Земли. Изучено влияние движения блоков земной коры [37] на сейсмичность [38], выявлены факторы влияния лунных приливов и установлена цикличность для сильных землетрясений с периодами 8.85, 18.613 года [25, 26].

Наиболее представительными исследованиями в данной постановке задачи являются разработки по изучению группирования землетрясений по фазам земных приливов, вызывающих приливные деформации земной коры от полусуточных до годовых периодов, [2, 14, 17, 19, 21, 35, 39] и многие другие. Все это свидетельствует о том, что незначительные деформации земной коры (10^{-7} и менее) в виде периодических воз-

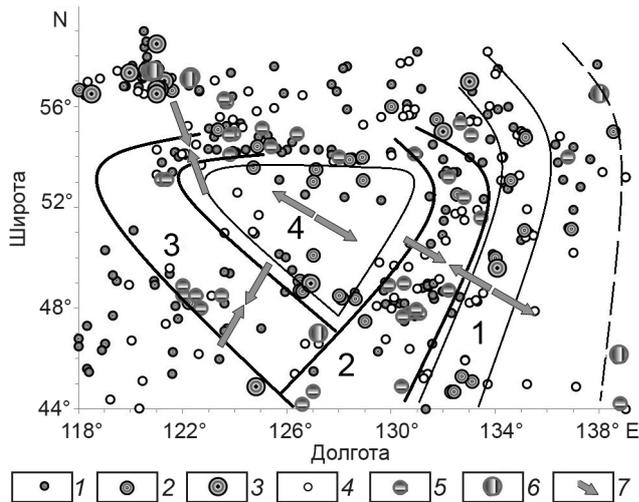


Рис. 4. Схема возможных зон активизации сейсмичности (1–4) в двух фазах изменения скорости вращения Земли.

1 – распределение эпицентров землетрясений в интервале магнитуд $4 \leq M < 5$ в фазе замедления вращения Земли; 2 – то же в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$; 3 – то же в интервале магнитуд $M \geq 6$; 4 – распределение эпицентров землетрясений в интервале магнитуд $4 \leq M < 5$ в фазе ускорения вращения Земли; 5 – то же в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$; 6 – то же в интервале магнитуд $M \geq 6$; 7 – направление векторов сжатия-растяжения.

мущений приливной и инерционной природы модулируют сейсмический процесс.

В результате расчетов удлинения (укорочения) линий парных близких (2–10 км) GPS-пунктов разлома Сан-Андреас и Южной Якутии [37] в годовых циклах было установлено, что линейно относительное укорочение составляет порядка $\epsilon \approx 5 \cdot 10^{-7}$. Данная величина укорочения линий в годовых циклах на 4 порядка выше вековой деформации за последние 2.5 тысячи лет ($\epsilon \approx 5 \cdot 10^{-11}$) за счет уменьшения скорости вращения. То есть такие величины деформаций ($\epsilon \approx 5 \cdot 10^{-7}$) характерны для разломных зон.

Объединение процессов деформации земной коры вследствие тектонических процессов и процессов деформации земной коры при воздействии периодических возмущающих сил можно представить в виде амплитудно-модулированного сигнала вида

$$D_{\Sigma} = D^{\pm}(T_1, v_{def}) D^{per} F(\omega_2 t + \varphi),$$

где $D^{\pm}(T_1, v_{def})$ – модуль и направление тектонических деформаций; T_1 – период накопления тектонических деформаций; v_{def} – скорость накопления тектонических деформаций; D^{per} – амплитуда периодической составляющей деформации, связанной с переменной нагрузкой на земную кору приливных или инерционных сил; ω_2 – циклическая частота, $\omega_2 = 2\pi/T_2$, T_2 – период действия нагрузки, φ – начальная фаза, связанная с меридиональным положением сейсмоактивной зоны. Функция $D^{\pm}(T_1, v_{def})$ в пределах области исследова-

ний принимает как положительные D^+ , так и отрицательные D^- значения. Для медленных тектонических процессов $T_2 \ll T_1$ накопления деформаций функцию $D^{\pm}(T_1, v_{def})$ можно принять постоянной за время действия периодической нагрузки D^{per} . Причем в геологических масштабах времени функция $D^{\pm}(T_1, v_{def})$ сохраняет знак в выделенных сейсмогенных областях.

Таким образом, периодическая составляющая $D^{per} F(\omega_2 t + \varphi)$ в положительный полупериод будет увеличивать деформацию в зонах положительных тектонических деформаций (зонах сжатия) D^+ и уменьшать в зонах растяжения D^- . В отрицательный полупериод будет наблюдаться обратный эффект. Накопление малых периодических деформаций возможно в силу нелинейности процессов деформирования разломных зон [10], механизм реализации неустойчивого состояния которых подробно изложен в работе [16].

В рассматриваемой модели выделенные зоны сейсмической активности в двух фазах изменения скорости вращения Земли (рис. 4) должны соответствовать различным условиям напряженно-деформированного состояния земной коры, то есть пространственно коррелировать с зонами сжатия и растяжения земной коры, направление векторов в которых будут ортогональны поверхности кривизны сейсмоактивных зон (рис. 4, обозначение 7).

Для Олекмо-Становой сейсмической зоны характерно меридиональное сжатие [7, 8], для зоны Тан Лу – попеременное чередование зон «сжатия-растяжения» северо-восточного простирания [36], то есть с векторами сжатия-растяжения северо-западного направления. Центральная область расширения в предлагаемой модели пространственно совпадает с Амуро-Зейской впадиной [36]. Это дает основание полагать, что эпицентры землетрясений в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$ в двух фазах изменения скорости вращения Земли распределены не случайно. Их пространственное группирование в виде зон сейсмической активности отражает реальные процессы наложения медленных тектонических и периодических деформаций земной коры и соответствуют модели коллективной активизации разломных зон под действием внутренних и внешних силовых полей [28, 29].

Одной из возможных причин генерации сейсмических событий в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$ могут быть также эффекты от волновых воздействий фронтов деформационных волн, которые в качестве триггеров способствуют незначительным вариациям напряжений сжатия и растяжения. Вопросы изучения данных эффектов в течение многих лет активно обсуждаются в литературе [15, 34, 38], а также на Всероссийском семинаре-совещании ИДГ РАН «Триггерные эффекты в геосистемах».

ВЫВОДЫ

К кратким выводам можно отнести следующие результаты данного исследования.

1. В развитие результатов предшествующих работ по определению взаимосвязи сейсмичности с изменением угловой скорости вращения Земли на примере сейсмических зон северо-восточного сегмента Амурской плиты проведен анализ пространственного распределения эпицентров и гипоцентров землетрясений в интервале магнитуд $2 \leq M < 6$ в двух фазах изменения угловой скорости вращения Земли.

2. Статистически значимых отклонений в количестве землетрясений в представленном интервале магнитуд в двух фазах изменения скорости Земли не обнаружено.

3. По распределениям эпицентров землетрясений в интервале магнитуд $2 \leq M \leq 4$ выделены зоны сейсмической активности в виде сейсмолинеаментов, замыкающих зону сейсмичности Тан-Лу с широтными сейсмическими зонами ОСЗ и ТДЗ.

4. Сейсмические кластеры, протяженностью до 1500 км и шириной 180–240 км, охватывают сейсмические зоны: широтные Олекмо-Становую (ОСЗ) и Тукурингра-Джагдинскую (ТДЗ) зоны, формирующиеся системой активных разломов левосдвиговой кинематики, и зоны Тан Лу с системой активных разломов правосдвиговой кинематики.

5. Выделены группы сейсмических событий в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$ в виде сейсмических кластеров северо-восточного простираения, закономерно чередующихся вдоль широты.

6. Предложена схема выделения зон сжатия и растяжения по пространственному группированию землетрясений в двух фазах изменения скорости вращения Земли в интервале магнитуд $5 \leq M < 6$, которая показывает удовлетворительное согласие с моделью сеймотектонических реконструкций полей и осей сжатия-растяжения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность А.Н. Диденко за полезное обсуждение результатов исследований, а также рецензентам, д.ф.-м.н. Ю.Л. Ребецкому и д.г.-м.н. С.И. Шерману, замечания и рекомендации которых послужили стимулом для более детального представления раздела «Обсуждение результатов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викулин А.В., Кролевец А.Н. Чандлеровское колебание полюса и сеймотектонический процесс // Геология и геофизика. 2001. № 6. С. 996–1009.
2. Гольдин С.В., Тимофеев В.Ю., М. ван Раумбеке, Ардюков Д.Г., Лаврентьев М.Е., Седусов Р.Г. Приливная модуляция слабой сейсмичности для южной части Сибири // Физическая мезомеханика. 2008. № 11. С. 81–93.
3. Горькавый Н.Н., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. О глобальной составляющей сейсмического процесса и ее связи с наблюдаемыми особенностями вращения Земли // Докл. АН. 1994. Т. 338, № 4. С. 525–527.
4. Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.Н., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. О корреляции графиков угловой скорости вращения Земли и модуля ее временной производной с частотой землетрясений в зависимости от их магнитуды // Физика Земли. 1994. № 10. С. 33–38.
5. Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Трапезников Ю.А., Фридман А.М. О зависимости корреляции между региональной сейсмичностью Земли и неравномерностью ее вращения от очагов землетрясений // Физика Земли. 1999. № 10. С. 52–66.
6. Зоненштайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 311 с.
7. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсотектоника Якутии. М.: ГЕОС, 2000. 227 с.
8. Имаев В.С., Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Козьмин Б.М., Никитин В.М., Статива А.С. Разломная тектоника и геодинамика в моделях очаговых зон сильных землетрясений Южной Якутии. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 274 с.
9. Костюченко В.Н., Кочарян Г.Г., Павлов Д.В. Деформационные характеристики межблоковых промежутков различного масштаба // Физическая мезомеханика. 2002. Т. 5, № 5. С. 23–42.
10. Кочарян Г.Г., Костюченко В.Н., Павлов Д.В. Иницирование деформационных процессов в земной коре слабыми возмущениями // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7, № 1. С. 5–22.
11. Кочарян Г.Г. Разломная зона как нелинейная механическая система // Физическая мезомеханика. (Спец. выпуск.) 2010. Т. 13. С. 5–17.
12. Кропоткин П.Н., Трапезников Ю.А. Вариации угловой скорости вращения Земли, колебаний полюса и скорости дрейфа геомагнитного поля и их возможная связь с геотектоническими процессами // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1963. № 11. С. 32–50.
13. Левин Б.В., Чирков Е.Б. Особенности широтного распределения сейсмичности и вращение Земли // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 65–69.
14. Николаев А.В. Реакция сильных землетрясений на фазы земных приливов // Физика Земли. 1996. № 11. С. 49–58.
15. Ребецкий Ю.Л. Принцип минимума потенциальной энергии гравитационного напряженного состояния в приложении к проблемам тектоники слоистых сред: Материалы второго Всерос. семинара-совещания «Триггерные эффекты в геосистемах». (Москва, 18-21 июня 2013 г.); / Ин-т динамики геосфер РАН; Под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. М.: ГЕОС, 2013. С. 180–187.
16. Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. 104 с.
17. Салтыков В.А., Иванов В.В., Кугаенко Ю.А. Воздействие земных приливов на сейсмичность перед землетрясением 13 ноября 1993 года $M_w = 7.0$ (Камчатка) // Физика Земли. 2004. № 7. С. 25–34.
18. Сидоренков Н.С. Нестабильность вращения Земли // Вестн. РАН. 2004. Т. 74, № 8. С. 701–715.

19. Сидорин А.Я. Суточная периодичность сильных землетрясений Гармского полигона // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44, № 3. С. 70–76.
20. Трофименко С.В. Тектоническая интерпретация статистической модели распределений азимутов аномалий гравимагнитных полей Алданского щита // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 3. С. 64–77.
21. Трофименко С.В. Суточные и годовые циклы сейсмической активности сейсмических поясов Северо-Востока Азии в модели блокового строения земной коры // Вестн. СВФУ. 2011. Т. 8, № 1. С. 55–63.
22. Трофименко С.В., Быков В.Г., Колодезников И.И. Пространственное распределение эпицентров землетрясений северо-восточного сегмента Амурской микроплиты в различных фазах вращения земли // Наука и образование. 2015. № 4 (80). С. 41–44.
23. Фридман А.М., Татевян С.К., Трапезников Ю.А., Клименко А.В. Об особенностях вариации глобальной и зеркальной компонент сейсмической активности Земли // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 10. С. 1504–1515.
24. Фридман А.М., Клименко А.В., Поляченко Е.В., Фридман М.В. О связи глобальной сейсмической активности Земли с особенностями ее вращения // Вулканология и сейсмология. 2005. № 1. С. 67–74.
25. Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западного участка Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С. 103–115.
26. Широков В.А. Влияние 19-летнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о БТТИ 1975–1976 гг. М.: Наука, 1978. С. 164–170.
27. Heki K., Miyazaki S., Takahashi H. et al. The Amurian Plate motion and current plate kinematics in eastern Asia // J. Geophys. Res. 1999. V. 104, N 12. P. 29147–29155.
28. Hough S.E., Seeber L., Armbruster J.G. Intraplate triggered earthquakes: observations and interpretation // Bull. Seism. Soc. Am. 2003. V. 93, N 5. P. 2212–2221.
29. Hubenthal M., Stein S., Taber J. A big squeeze: examining and modeling causes of intraplate earthquakes in the Earth science classroom // The Earth Science. Springer, 2011. V. 27, N 1. P. 33–39.
30. Imaeva L.P., Imaev V.S., Koz'min B.M. Seismogeodynamics of the Aldan-Stanovoi block // Russian Journ. of Pacific Geol. 2012. N 6. P. 1–12.
31. Ovsyuchenko A.N., Trofimenko S.V., Marakhanov A.V. et al. Source zones of strong earthquakes in southern Yakutia as inferred from paleoseismogeological data // Izvestiya Physics of the Solid Earth. 2009. V. 45, N 2. P. 101–117.
32. Ovsyuchenko A.N., Trofimenko S.V., Marakhanov A.V. et al. Detailed geological-geophysical studies of active fault zones and the seismic hazard in the South Yakutia region // Russian Journ. of Pacific Geol. 2009. T. 3, N 4. P. 356–373.
33. Ovsyuchenko A.N., Trofimenko S.V., Marakhanov A.V. et al. Seismotectonics of the transitional region from the Baikal rift zone to orogenic rise of the Stanovoi range // Geotectonics. 2010. V. 44, N 1. P. 25–44.
34. Sherman S.I. Deformation waves as a trigger mechanism of seismic activity in seismic zones of the continental lithosphere // Geodynamics & Tectonophys. 2013. N 4. P. 83–117.
35. Tanaka S., Ohtake M., Sato H. Evidence for tidal triggering of earthquakes as revealed from statistical analysis of global data // J. Geophys. Res. V. Solid Earth. 2002. V. 107, N 10.
36. Tectonics, deep structure, metallogeny of Central Asian – Pacific Belts junction area: Explanatory Notes to the Tectonic Map. Scale 1:1 500 000. Beijing: Geol. Publ. House. 2008. 213 p.
37. Trofimenko S.V., Bykov V.G. The model of crustal block movement in the South Yakutia geodynamic testing area based on GPS data // Russian Journ. of Pacific Geol. 2014. N 8. P. 247–255.
38. Trofimenko S.V., Bykov V.G., Merkulova T.V. Seismicity Migration in the Zone of Convergent Interaction between the Amur Plate and the Eurasian Plate // J. Volcanology and Seismology. 2015. V. 9, N 3. P. 210–222.
39. Ulbrich U., Ahorner L., Ebel A. Statistical investigations on diurnal and annual periodicity and on tidal triggering of local earthquakes in Central Europe // J. Geophys. 1987. V. 61. P. 150–157.

Рекомендована к печати В.Г. Быковым

S.V. Trofimenko

Tectonic seismicity model of the northeastern segment of the Amur Plate in the Earth's two-phased rotation

Relations of the rotational angular velocity of the Earth and the spatial distribution of epicenters and hypocenters of earthquakes in the magnitude range $2 \leq M \leq 6$ of the northeastern segment of the Amur Plate have been analyzed. Groups of seismic events in the range of magnitudes $5 \leq M < 6$ have been distinguished as seismic clusters of the northeastern strike, alternating regularly along the latitude. Seismic clusters of up to 1.500 km in extent and 180–240 km in width encompass seismic zones with different geodynamic and seismotectonic conditions of formation of seismicity. Based on the distribution of epicenters of earthquakes in the magnitude range $2 \leq M \leq 4$, the seismically active zones have been distinguished in the shape of seismic lineaments, closing the Tan-Lu and sublatitudinal seismic zones. The model is proposed to distinguish the compression and extension zones in accordance with spatial clustering of earthquakes in the magnitude range $5 \leq M < 6$ in two phases of the change in the rate of the Earth rotation, which shows good agreement with the model of seismotectonic reconstructions of the fields and compression-extension axes.

Key words: earthquake, the rotational motion of the Earth, spatial clustering of seismicity, compression-extension zones, Amur Plate, Far East of Russia.