

УДК 551.243

## ТАН-ЛУ–СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ ТРАНСРЕГИОНАЛЬНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ ПАРАГЕНЕЗ И ЕГО РОЛЬ В КОНТИНЕНТАЛЬНОМ РИФТОГЕНЕЗЕ

© 2012 г. В. П. Уткин

Представлено академиком Ю.Г. Леоновым 03.07.2011 г.

Поступило 08.08.2011 г.

На окраине Азии от Охотского до Южно-Китайского моря доминируют две косо ориентированные по отношению друг к другу разломные системы (рис. 1), генетические взаимоотношения которых не изучались. Исследовался структурный ансамбль, состоящий из Тан-Лу–Сихотэ-Алинской (ТС) и Бохай-Амурской (БА) систем, геохронологическая корреляция развития которых показала, что их синхронная кинематика не идентична и соответствует формированию разломов как структурных парагенезов. В сообщении обосновано новое представление о природе динамокинематических режимов регионального структурирования и рифтогенеза в мезо-кайнозое.

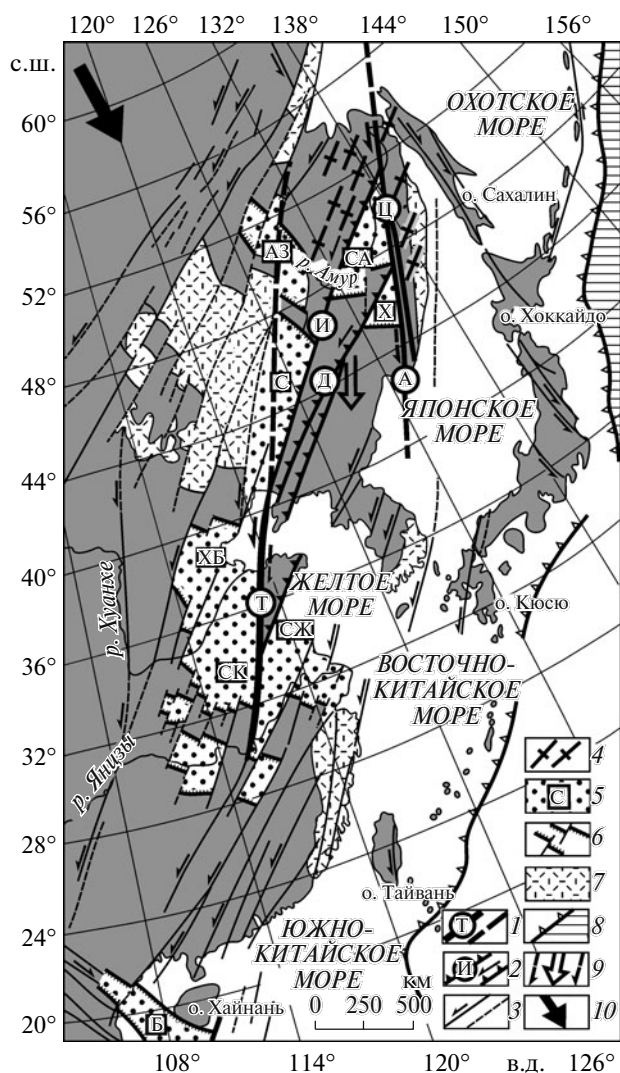
Система ТС представлена глубинными разломами, прежде всего Тан-Лу (ТЛ) и Центральным Сихотэ-Алинским (ЦСА) (рис. 1), которые, ориентируясь ССВ 25–30°, являются крупнейшими на окраине Азии левыми сдвигами с амплитудами смещений около 760 и не менее 200 км соответственно (см. [1–4] и др.). Сдвиги формировались в мезо-кайнозое.

Система БА является одной из группировок разломов СВ-простираения, которая вместе с входящими в нее левыми взбросо-сдвигами Илань-Итун (ИИ) и Дуньхуа-Мишань (ДМ), ответвляясь от ТЛ в направлении СВ 50–70° (рис. 1) и проследившись от моря Бохай до р. Амур, под острым углом примыкает к левому сдвигу ЦСА (рис. 2). Разлом ИИ исследователи ([1, 2] и др.) считают продолжением сдвига ТЛ и рассматривают их как единую структуру. Однако ТЛ отличается от ИИ не только ориентировкой, но и значительно превосходящей амплитудой левых смещений, а также различиями синхронной кинематики. Разломы ИИ и ДМ, сопрягаясь с ТЛ, образуют S-образную структуру (рис. 3), которая по своим морфокинематическим характеристикам отвечает строению и развитию левосдвигового парагенеза.

В развитии ТЛ установлено два главных этапа [2]: поздняя юра–ранний мел – произошло крупномасштабное (700–800 км) левостороннее смещение; конец раннего мела–эоцен – разлом формировался главным образом как структура растяжения с развитием рифтовой долины шириной 40–60 км (максимум 80 км). Рифт заполнялся молассой, красноцветами, а на некоторых участках базитовыми вулканитами. Инъекции плейстоценовых базанитов с включениями свидетельствуют о растяжениях, трансформирующих сдвиг ТЛ в магмоподводящий канал, проникающий на глубину до 70–90 км. В условиях растяжений ТЛ, согласно нашим представлениям, были сформированы Хуабей-Бохайваньский и Субей-Желтоморский осадочные бассейны (ОБ) (рис. 3). Главная особенность строения ОБ – развитие односторонних грабенов, образование которых началось в позднем мезозое и наиболее значимо (до 7–8 км) в палеогене (рис. 3, разрезы). Зеркально симметричные ступенчатые сбросы, ограничивающие полуграбены, направлены в сторону рифта ТЛ, указывая на его материнскую роль как структуры растяжения.

S-образная морфология ТЛ свидетельствует о его раскрытии в результате левосдвиговой активизации разломов ИИ и ДМ, амплитуды которых соответственно 50 и около 100 км проявлены в левом смещении восточной границы архей-протерозойского кратоногена (рис. 2). Время левосдвиговой активизации разломов, синхронное растяжению ТЛ, отражено в формировании позднемеловых и преимущественно кайнозойских присдвиговых структур растяжения типа пул-аппарт, в которых левосдвиговая компонента растяжения играла определяющую роль. В идентичных структурно-кинематических обстановках происходило формирование и ОБ Сунляо, расположенного к ССВ от ТЛ (рис. 3). На продолжение разлома ТЛ в фундаменте Сунляо указывает ССВ-ориентировка линейных грабенов и мантийных астенолитов (рис. 4). Так же ориентированы и линейные грабены в Амуро-Зейском ОБ, что свидетельствует о возможном продолжении ТЛ и к северо-востоку

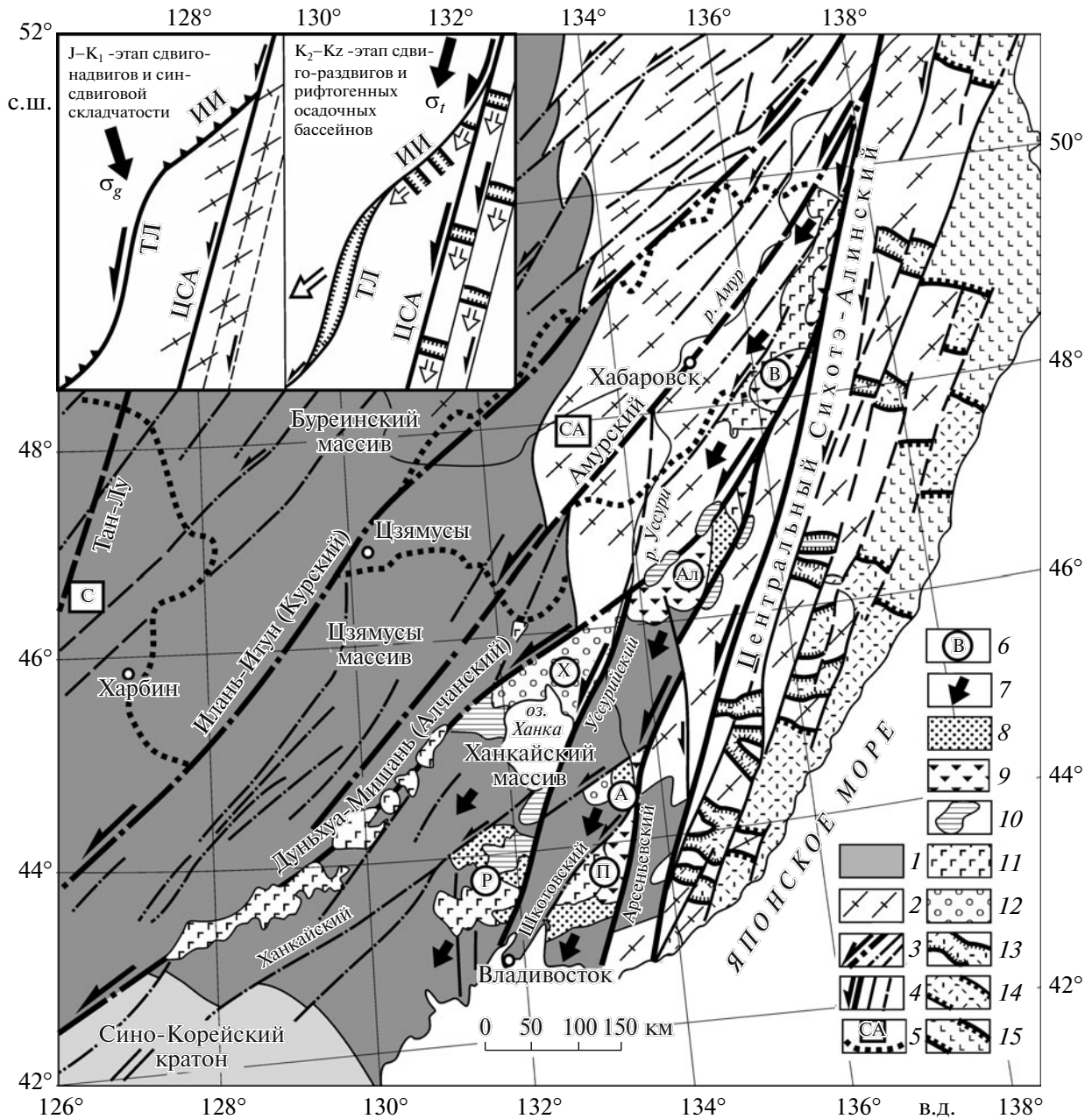
*Дальневосточный геологический институт  
Дальневосточного отделения  
Российской Академии наук, Владивосток*



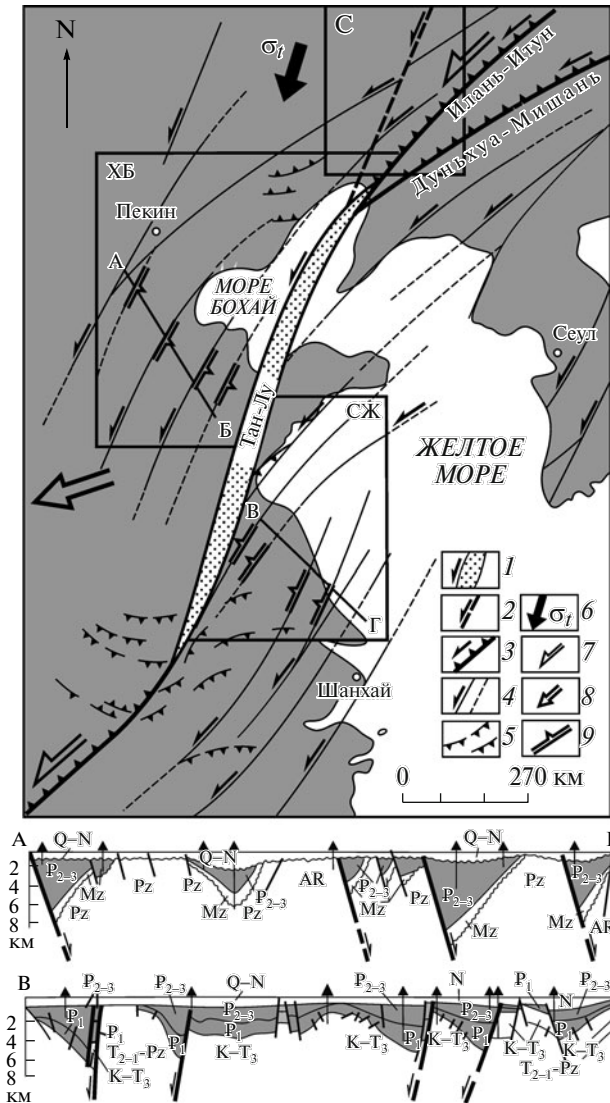
**Рис. 1.** Строение и динамо-кинематические условия развития Тан-Лу–Сихотэ-Алинского трансрегионального структурного парагенеза (составлена по [1–4] и др.). 1 – главные левые сдвиги Тан-Лу–Сихотэ-Алинской (ТС) системы разломов (штриховая линия – предполагаемые или перекрытые): Тан-Лу (Т), Центральный Сихотэ-Алинский (Ц), Арсеньевский (А); 2 – взбросо-сдвиги Бохай-Амурской (БА) системы разломов: Илань-Итун (И), Дуньхуа-Мишань (Д); 3 – левые сдвиги, взбросо-сдвиги (штриховая линия – предполагаемые), образующие группировки, идентичные простиранию и, видимо, истории развития БА-системы разломов; 4 – Сихотэ-Алинская чешуйчато-складчатая система (штрихи – простирание структур); 5, 6 – осадочные бассейны (5): Сунляо (С), Среднеамурский (СА), Северо-Китайский (СК), Хуабей-Бохайваньский (ХБ), Субэй-Желтоморский (СЖ), Бак-Бо (Б), Ханкайский (Х), Амура-Зейский (АЗ) и их генерализованные границы (6), ступенчатая морфология которых, видимо, отражает участие сдвигов в формировании бассейнов; 7 – меловые вулканы; 8 – зона Беньюфа (штриховка – кора океанического типа); 9 – направление предполагаемого смещения блока коры с синхронными малоамплитудными (первые метры) правыми (разлом ТЛ) и левыми (разлом А) сдвигами, обусловившими исторические землетрясения; 10 – направление генерального сжатия литосферы.

от Сунляо (рис. 1). Грабены S-образны (рис. 4) и отвечают морфологии дуплексов растяжения левых сдвигов, параллельных разлому ИИ. Вероятно, и эти ОБ формировались как следствия грабенообразующих растяжений, в которые был вовлечен глубокий разлом ТЛ в результате активизации левых сдвигов БА-системы. В этих же условиях происходила и инъекция мантийных астенолитов, свидетельствуя о пассивном рифтогенезе.

Стратиграфический разрез Сунляо (рис. 4) начинается верхнеюрскими (?) осадками (пирокластами), которые, возможно, являются законсервированными в узких рифтах «негативными останцами» [10] пород, ранее залегающих плащеобразно, но уничтоженных эрозией за пределами рифтовой впадины. Выше по разрезу наблюдаются и раннемеловые осадки, однако главная стадия рифтогенного растяжения и просадки бассейна происходила в период апт–коньяк [8], что близсинхронно началу развития ТЛ (конец ранне-поздний мел) как структуры растяжения. Прекращение активной просадки бассейна Сунляо в кайнозой, по-видимому, связано с взбросом его фундамента по разлому ИИ, который, круто падая на СЗ, пересекает границу Мохо, воздымая ее на 4–5 км (рис. 4). В результате в маастрихт-кампане произошел перекосящий бассейн с подъемом ЮВ-борта, примыкающего к ИИ (рис. 4, разрез). Возможно, подъем фундамента бассейна обусловлен взбросовой составляющей косоугольного сдвига по ИИ, сдвиговая компонента которого обеспечивала в позднем мелу рифтообразующее растяжение ТЛ синхронно с воздыманием фундамента. Однако основные взбросовые смещения по разлому ИИ, по-видимому, произошли не в позднем мелу, а в юрско-раннемеловом периоде, когда вся БА-система разломов формировалась как дуплекс сжатия сдвигового этапа развития ТЛ. Время главной перестройки кинематики разломов БА системы от взбросо-надвигов к левым сдвигам обнаруживается в поэтапных дислокациях, сопутствующих развитию СВ-фланга разлома ИИ. Здесь разлом ИИ, ограничивая с северо-запада Среднеамурский ОБ (рис. 2), на геоэлектрическом разрезе выражен зоной пониженного сопротивления, круто наклоненной на СЗ и прослеживающейся на всю мощность литосферы [11]. Развитие разлома как структуры сжатия (взброс) сопровождалось формированием чешуйчато-складчатой системы с ярко выраженной вергентностью складок на ЮВ и падением надвиговых сместителей на СЗ. Детальными исследованиями последовательности структурирования раннемеловых турбидитов (амурский комплекс) установлено, что оно происходило в два главных этапа [12]. На первом этапе структуры формировались нормально ССЗ-сжатию, которое началось не позднее юры и продолжалось в раннем мелу (по [12] – до середины альба). На втором этапе, после

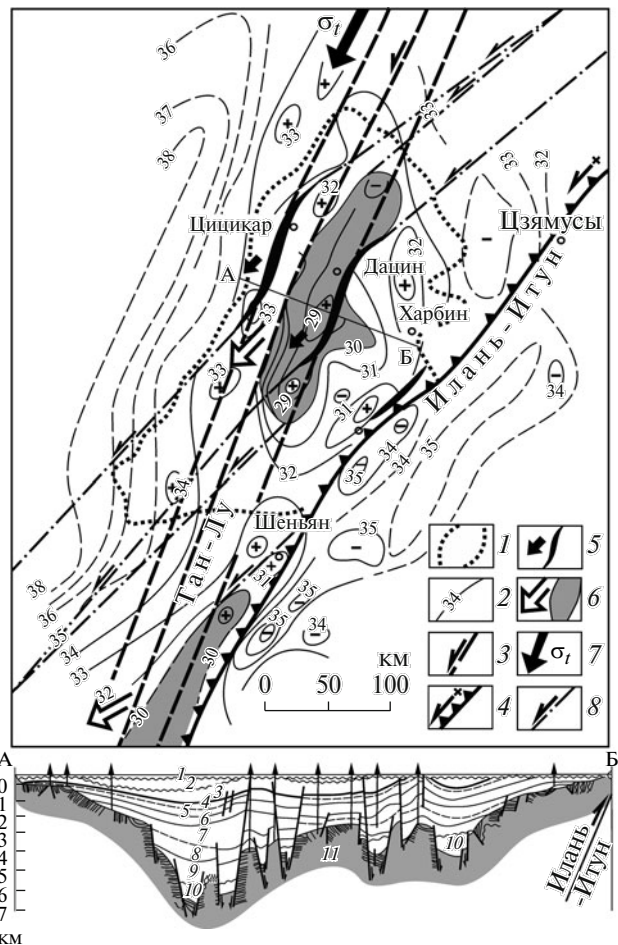


**Рис. 2.** Структурно-кинематическая схема сочленения Бохай-Амурской и Сихотэ-Алинской систем левых сдвигов (составлена по [3–5] и др.). 1 – архей-протерозойский кратоноген (Буреинский, Цзямусы, Ханкайский массивы и Сино-Корейский кратон, пронизанные преимущественно палеозойскими гранитоидами и местами перекрытые чехлом фанерозойских субплатформенных образований); 2 – Сихотэ-Алинская чешуйчато-складчатая система (штрихи – простираения структур); 3 – Бохай-Амурская система левых взбросо-сдвигов (тонкие линии – второстепенные, штриховые – предполагаемые или перекрытые); 4 – Сихотэ-Алинские левые сдвиги (тонкие линии – второстепенные, штриховые – предполагаемые или перекрытые); 5 – границы позднемеловых-кайнозойских рифтогенных осадочных бассейнов: Среднеамурский (СА), Сунляо (С); 6 – мел-кайнозойские клиновидные структуры растяжения: Восточно-Амурская (В), Алчанская (Ал), Партизанско-Суходольская (П), Арсеньевская (А), Ханкайская (Х), Раздольненская (Р); 7–12 – направление растягивающих усилий в клиновидных структурах (7) и компенсирующие их образования: конец раннего-позднемеловые терригенные осадки (8) и вулканиты (9), кайнозойские осадки (10) и базальты (11), плейстоцен-четвертичные осадки (12); 13–15 – Восточно-Сихотэ-Алинский вулcano-плутонический пояс: сеноман-палеоценовые вулcano-структуры синдвигового растяжения (13) и генерализованные границы зон рассеянного синдвигового хрупкого растяжения коры, обеспечившего развитие позднемелового кислого и среднего вулканизма (14) и наложенного кайнозойского базальтоидного вулканизма (15). Врезки – схемы динамо-кинематических условий поэтапного развития трансрегионального структурного парагенеза;  $\sigma_g$  – направление генерального сжатия и его производного-тангенциального ( $\sigma_t$ ); главные разломы парагенеза: Тан-Лу (ТЛ), Центральный Сихотэ-Алинский (ЦСА), Илань-Итун (ИИ); полые стрелки – направления синдвиговых растяжений.



**Рис. 3.** Схема динамо-кинематических условий трансформации сдвига Тан-Лу в структуру растяжения (составлена по [1, 2, 6, 7]). 1 – левый сдвиг ТЛ, трансформированный в структуру растяжения на втором этапе развития; 2 – продолжение ТЛ в фундаменте ОБ Сунляо; 3 – главные взбросо-сдвиги БА-системы; 4 – прочие сдвиги, трансформированные в сбросы; 5 – шарьяжно-надвиговые системы, сформированные на флангах ТЛ [по 1, 2]; 6–9 – динамо-кинематическая обстановка, обусловившая растяжение ТЛ с формированием ОБ: тангенциальное сжатие (6), левые сдвиги (7), направление растяжения (8), ступенчатые сбросы, направленные в сторону ТЛ (9, разрезы).

альфа стиль кинематики чешуйчато-складчатых структур амурского комплекса изменился со все нарастающей доминантой развития послыстных и близпослыстных левых сдвигов, сопровождаемых складками с крутыми и вертикальными шарнирами, осложняющими крылья сжатых складок с пологими шарнирами первого этапа деформации [12]. Завершение первого этапа, по-видимому, от-



**Рис. 4.** Структурно-кинематическая схема формирования ОБ Сунляо (составлена по [8, 9]). 1 – граница бассейна; 2 – изопахиты поверхности Мохо (км); 3 – продолжение системы сдвигов Тан-Лу в фундаменте бассейна; 4 – положение левого взбросо-сдвига Илань-Итун в основании континентальной коры; 5–8 – динамо-кинематическая обстановка, обусловившая растяжение сдвига ТЛ с формированием линейных грабенов (5) и мантийных астенолитов (6) (стрелки – направление растяжений): тангенциальное сжатие (7), левые сдвиги БА-системы (8), наложенные на ТЛ. Разрез А-Б: 1 – позднекайнозойские отложения; 2–9 – меловые формации: 2 – Миншуй и Сыфантай (K<sub>2</sub> маастрихт–кампан), 3 – Нэньцзян (K<sub>2</sub> коньяк), 4 – Яоцзя (K<sub>2</sub> турон), 5 – Циньшанькоу (K<sub>2</sub> сеноман), 6, 7 – Цюаньтоу (K<sub>1</sub> апт–альб), 8, 9 – Дэнлоуку (K<sub>1</sub> готерив–баррем); 10 – юрские (?) образования; 11 – гетерогенный фундамент бассейна.

ражает время начала смены кинематики разлома ИИ от взбросовой к сдвиговой с левосторонним смещением восточной границы кратоногена на амплитуду около 50 км (рис. 2).

Чешуйчато-складчатые структуры Приамурья являются частью обширной Сихотэ-Алинской чешуйчато-складчатой системы, развитой к востоку от архей-протерозойского кратоногена

(рис. 2). Система формировалась в течение юры–раннего мела и завершилась, как и в Приамурье, к позднему альбу, когда сосдвиговый чешуйчато-складчатый ороген Сихотэ–Алиния был размыт и несогласно перекрыт поздне меловым–кайнозойским чехлом Восточно–Сихотэ–Алинского вулканического пояса (рис. 2). Чешуйчато-складчатые структуры формировались как дуплексы сжатия Сихотэ–Алинских левых сдвигов [13]. Идентичность простираения (СВ 50–70°) и природы (парагенезы левых сдвигов), а также синхронность формирования (юра–ранний мел) позволяют рассматривать первый этап развития разломной БА-системы и Сихотэ–Алинскую чешуйчато-складчатую систему как единую систему региональных структур сжатия – парагенезов ТС-системы левых сдвигов.

Сдвиговый этап (конец раннего мела–кайнозой) развития БА-системы характеризуется не только раскрытием разлома ТЛ и формированием присдвиговых структур растяжения типа пул-аппарат, но и образованием на участках сочленения разломов БА и Сихотэ–Алинской систем структур растяжения клиновидной формы (рис. 2). Д. Кроуэл [14], исследовавший клинообразные структуры, ограниченные сочленяющимися сдвигами, выделил две принципиально различные динамические обстановки их развития: в условиях схождения сдвигов (смещения в направлении вершины клина) структуры испытывают сжатие с воздыманием, а в условиях расхождения (смещение от вершины клина) структуры растягиваются (вулканизм) и опускаются (формирование ОБ). В нашем случае в условиях расхождения левых сдвигов клиновидные структуры растягивались, что обусловило с конца раннего мела до плиоцен-четвертичного периода прерывисто-непрерывный процесс осадконакопления и вулканизма (рис. 2).

В развитии трансрегионального структурного парагенеза установлены два генеральных этапа, обусловленных изменением направлений векторов сжатия (рис. 2, врезки). Первый сдвиго-надвиговый этап формировался в условиях генерального ССЗ-сжатия. К позднему мелу левосдвиговые смещения по ТЛ в основном прекратились и доминировали по системе сдвигов Сихотэ–Алиния и прежде всего вдоль глубинного ЦСА-разлома. В этих структурно-кинематических условиях, согласно известному закону тектонофизики, генеральное сжатие генерировало тангенциальное (касательное) сжатие, ориентированное на ЮЗ 200–210° вдоль левого ЦСА-сдвига, что привело к трансформации кинематики разломов БА-системы от взбросо-надвигов к левым сдвигам с формированием синсдвиговых структур растяжения (второй этап). Есть основание считать, что подобного рода смена геодинамических режимов эпизодически происходила и в периоды главных этапов развития трансрегионального парагенеза. Этим объясняется относительно кратковремен-

ная смена кинематики разломов (обратимая смена надвигов и сдвигов), а также инверсия формирования ОБ (смена растягивающих усилий на сжимающие и обратно), которая выражена многочисленными стратиграфическими несогласиями, изменением размеров площадей осадконакопления, сменой осадочных формаций преимущественно болотно-озерного происхождения на морские осадки, развитием на фоне сбросовой тектоники структур сжатия.

Структурно-кинематические региональные ансамбли (рис. 1, 2) свидетельствуют о направлении материнского вектора сжатия на ЮЮВ со стороны давления континентальных масс, а не океанических, что, возможно, отражает субмеридиональное направление постоянно существующих сил вращающейся Земли.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 08–05–90300–Вьет-а).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xu J.W., Tong W.X., Zhu G., Lin S. // J. of Southeast Asian Earth Sci. 1989. V. 3. № 1/4. P. 29–45.
2. The Tancheng-Lujiang Wrench Fault System / Xu Jiawei. Ed. Chichester: Wiley, 1993. 279 p.
3. Иванов Б.А. Центральный Сихотэ–Алинский разлом. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1972. 115 с.
4. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации и методика их изучения. М.: Наука, 1980. 144 с.
5. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1:2500000 / Под ред. Л.И. Красного, Пэн Юньбао. СПб., 1998. 3 л.
6. Zhao Jiongkun, You Youguang, Zhou Xigi // In: ESCAP Atlas of Stratigraphic Correlation between Sedimentary Basins of the ESCAP Region. V. 10. Peoples Republic of China. Mineral Resources Development. Ser. № 52. N.Y.: United Nations, 1985. P. 28–34.
7. Zhang Jiazhen. In: ESCAP Atlas of Stratigraphic Correlation between Sedimentary Basins of the ESCAP Region. V. 10. Peoples Republic of China. Mineral Resources Development. Ser. № 52. N.Y.: United Nations, 1985. P. 22–27.
8. Ma Li, Yang Jiliang, Ding Zhengyan. In: Chinese Sedimentary Basins. N.Y.: Elsevier Sci. Publ., 1989. P. 77–87.
9. Кириллова Л.Л. // Тихоокеан. геология. 1994. № 6. С. 33–54.
10. Леонов Ю.Г. В кн.: Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция. М.: Науч. мир, 2004. 486 с.
11. Капун В.Б. // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28. № 2. С. 86–98.
12. Натальин Б.А., Черныш С.Г. // Тихоокеан. геология. 1992. № 2. С. 43–61.
13. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. М.: Наука, 1989. 165 с.
14. Crowell J.C. // SEPM Spec. Publ. 1974. V. 22. P. 190–204.