



## ТЕСТИРОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗЫ ДВИЖУЩЕЙСЯ ЛИТОСФЕРЫ: СМЕНА ИСТОЧНИКОВ ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКОГО ВУЛКАНИЗМА В ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

И.С. Чувашова<sup>1,2</sup>, С.В. Рассказов<sup>1,2</sup>, Йи-минь Сунь<sup>3</sup>, Чэнь Янг<sup>3</sup>,  
Чжэньхуа Сие<sup>3</sup>, Т.А. Ясныгина<sup>3</sup>, Т.А. Чикишева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Иркутск, Институт земной коры СО РАН, chuvashova@crust.irk.ru

<sup>2</sup>Иркутск, Иркутский государственный университет

<sup>3</sup>Удаляньчи, Китай, Институт вулканов и минеральных источников Хэйлунцзянской Академии наук

В новейшей геодинамике Азии, во временном интервале последних 90 млн лет, предполагается ведущая роль юго-юго-восточного движения литосферы (реконструкции [3] с использованием моделей сейсмической томографии [1, 4]). Согласно этой гипотезе, расплавные аномалии распределялись вдоль Японско-Байкальского геодинамического коридора, в котором астеносфера была динамически связана с фронтальной частью лопасти активного Тихоокеанского слэба, ограниченной с юга кососубдуцирующей Хонсю-Корейской флексурой и с северо-востока – прямосубдуцирующей Хоккайдо-Амурской флексурой. По отношению к Тихоокеанской слэбовой лопасти, в Японско-Байкальском геодинамическом коридоре различаются три новейших расплавных региона: 1) дальний, Байкало-Монгольский, соответствующий позднекайнозойской Байкальской рифтовой системе с сопредельными территориями, 2) средний, Ханнуоба-Хэйлунцзянский, объединяющий вулканические поля Северного, Северо-Восточного Китая и сопредельной Восточной Монголии, и 3) ближний, Танлу-Приморский, включающий вулканические поля территории Китая в зоне разлома Танлу севернее залива Бохай и части материка восточнее этого разлома до Южного Приморья России. Гипотеза движущейся литосферы [3] основывалась на данных по дальнему расплавному региону. В настоящем сообщении эта гипотеза тестируется на материалах среднего и ближнего расплавных регионов.

В дальнем (Байкало-Монгольском) расплавленном регионе мантийная динамика определялась возникновением астеносферных потоков в первичных расплавных аномалиях переходного слоя – Гобийской, Байкальской и Северо-Забайкальской, образовавшихся в начале новейшего геодинамического этапа под литосферой, смещавшейся на восток-юго-восток. Гобийская и Байкальская расплавные аномалии переходного слоя располагались в секторе динамического взаимодействия подлитосферной мантии Центральной Азии с кососубдуцирующей Хонсю-Корейской слэбовой флексурой, образование которой не привело к движениям переходного слоя мантии дальнего расплавленного региона, а было ограничено движениями в вышележащей астеносфере. Северо-Забайкальская расплавная аномалия переходного слоя была нарушена в связи с позднекайнозойским погружением в переходный слой мантии прямосубдуцирующей Хоккайдо-Амурской флексуры Тихоокеанского слэба. Ранне-среднемиоценовая структурная перестройка на границе Восточной Азии с плитами Тихого океана привела к образованию вторичных верхнемантийных расплавных аномалий.

При очевидной связи расплавных аномалий дальнего Байкало-Монгольского региона с движениями на межплитной границе Тихоокеанской плиты и Азии расшифровка подлитосферной динамики первичных и вторичных расплавных аномалий среднего и ближнего регионов Восточной Азии затруднена из-за нарушения первичных расплавных аномалий позднекайнозойским складированием океанического слэбового материала в переходный слой под этой территорией. Расплавные аномалии подлитосферной мантии и литосферы континентальной окраины Восточной Азии регистрируются только по низкоскоростным аномалиям верхней мантии и коры.

В ближнем (Танлу-Приморском) расплавленном регионе ключевое значение имеют Шкотовское и Шуфанское вулканические поля Приморья, активные в интервале 15–3 млн лет назад. Эти поля были производными Амурской низкоскоростной аномалии, расположенной в север-

ной части провинции Хэйлуцзян Китая (глубина 200–250 км, координаты: 45° с.ш., 130° в.д., район города Муданьцзян), и смещены движущейся литосферой на 300 км относительно центра аномалии. Оценка средней скорости смещения этих полей (2 см год<sup>-1</sup>) совпадает с оценкой смещения Витимского вулканического поля относительно центра Северо-Байкальской низкоскоростной аномалии в дальнем расплавленном регионе Японско-Байкальского геодинамического коридора. И Амурская, и Северо-Байкальская расплавленные аномалии несколько смещены к Хоккайдо-Амурской флекуре относительно осевой линии сектора слэбовой лопасти. Учитывая северо-восточное смещение верхнемантийной (250–300 км) Северо-Байкальской аномалии относительно Байкальской аномалии переходного слоя в результате раннесреднемиоценовой межплитной структурной перестройки, можно предположить такое же смещение Амурской аномалии относительно гипотетической аномалии переходного слоя, которая могла существовать до субдукции Тихоокеанского слэба, начавшейся около 18 млн лет назад [2]. Амурская верхнемантийная аномалия могла получить развитие от первичной аномалии переходного слоя, которая к настоящему времени должна была располагаться под вулканическим центром Чангбай. В модели сейсмической томографии [5] Чангбайская низкоскоростная аномалия «срезана» слэбом, залегающим горизонтально в переходном слое. Рассредоточенный вулканизм временного интервала 15–3 млн лет назад отразил активные процессы в верхней мантии вдоль 300-километровой северо-северо-восточной полосы континентальной окраины.

В среднем (Ханнуоба-Хэйлуцзянском) расплавленном регионе в плавление вовлекался верхнемантийный материал в виде кругового сегмента, обращенного выпуклой стороной от Тихоокеанской слэбовой лопасти на запад. Хорда сегмента протягивается на 1100 км от поля Тайханг (провинция Ханнуоба) на юго-юго-западе до поля Нуомиинхе (провинция Хэйлуцзян) на северо-северо-востоке. Эта линия ограничивает территорию западнее Главной гравитационной ступени восточной континентальной окраины Азии, известной на территории Китая под названием Субмеридионального гравитационного линеамента (по Х.Й. Ма) или Гравитационного линеамента Большого Хингана-Тайханга (Daxinganlin-Taihang Gravity Lineament) (по другим авторам). Максимальная ширина средней части расплавленного сегмента достигает 400 км. Вулканизм проявился здесь в начале новейшего геодинамического этапа, около 90 млн лет назад, и возобновлялся в интервале 33–17 млн лет назад и в последние 10 млн лет. Наиболее резко выраженная Восточно-Монгольская низкоскоростная аномалия (глубина 250 км) находится в осевой части сегмента под вулканическим полем Дариганга и вытянута в направлении с юго-юго-запада на северо-северо-восток. В модели движущейся литосферы предполагается, что эта низкоскоростная аномалия пространственно соответствует залеченной на уровне переходного слоя Дариганской первичной расплавленной аномалии. Главная гравитационная ступень восточной континентальной окраины Азии первоначально располагалась над западным краем стагнирующего слэба Кула-Изанаги, зафиксированным Дариганской расплавленной аномалией, и к настоящему времени смещена относительно ее в результате движения литосферы приблизительно на 300–400 км.

Дальний расплавленный регион имеет вид галочки ( $\surd$ ), правая ветвь которой образовалась в результате эволюции первичных расплавленных аномалий переходного слоя (Гобийской, Байкальской и Северо-Забайкальской), а левая ветвь явилась следствием перестройки Гобийской и Байкальской аномалий; Гобийская аномалия дала вторичную верхнемантийную Хангайскую аномалию подлитосферным потоком Куэтта, вызванным Индо-Азиатским взаимодействием, в то время как Байкальская аномалия продуцировала вторичную расплавленную аномалию в верхней мантии Восточного Саяна вследствие эффекта волочения обратного подлитосферного потока по утолщенному килу Сибирского кратона. Расплавленные аномалии Восточной Азии продуцировались под активной континентальной окраиной. Ближний расплавленный регион выражен перевернутой галочкой ( $\nabla$ ), левая ветвь которой отражала эволюцию расплавленных аномалий над передовым краем слэбовой лопасти, а правая явилась следствием несбалансированного движения слэбовых флексур – более активной прямосубдуцирующей Хонсю-Корейской и менее активной коссубдуцирующей Хоккайдо-Амурской. Сегментная форма среднего расплавленного региона объясняется осевым усилением воздействия слэбовой лопасти в Японско-Байкальском геодинамическом коридоре относительно его краевых частей.

Гобийская и Байкальская первичные аномалии дальнего расплавленного региона имели слабую динамическую активность в Японско-Байкальском геодинамическом коридоре и были преобразованы в процессе ранне- и среднемиоценовой перестройки в слабые верхнемантийные расплавленные аномалии, способные продуцировать вулканизм только в начале вулканического



следа. Развитию малоглубинных расплавных аномалий Саяно-Монгольского домена способствовали дополнительные эффекты, вызванные Индо-Азиатским взаимодействием и «завихрением» обратного астеносферного потока под движущимся литосферным килем Сибирского кратона. Расплавные аномалии ближнего региона отличались более высокой динамической активностью, обусловившей распространение вулканических шлейфов, создававшихся над верхнемантийными низкоскоростными аномалиями от начального до конечного пункта движения литосферы. Сегментная специфика средней области свидетельствует о проявлении максимальной активности глубинных процессов в осевой части Японско-Байкальского коридора (со слабым смещением к югу), трассированной вулканическими полями на всем протяжении восток-юго-восточного смещения литосферы над Восточно-Монгольской верхнемантийной аномалией. На концах сегмента вулканическая активность полей Нуоминхе и Тайханг выражена только вблизи Главной гравитационной ступени и при движении литосферы не трассировалась.

В расплавных регионах Японско-Байкальского геодинамического коридора определены контрастные источники с Nd-Sr-изотопными характеристиками обедненной и обогащенной мантии (относительно валового состава Земли). Общий компонент обогащенной мантии Восточной Азии ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.7052$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.5$ ) рассматривается как результат гомогенизации материала, представленного в малоглубинных подлитосферных расплавных аномалиях. Источники с характеристиками  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}<0.7052$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}>17.5$  относятся к низкоскоростным аномалиям нижней части верхней мантии, а источники с характеристиками  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}<0.7052$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}<17.5$  – к низкоскоростным аномалиям, затрагивающим нижнюю часть континентальной литосферы. Активность источников границы литосферы–астеносферы и глубинной части верхней мантии частично совмещалась в пространстве и времени (например, в миоцене на полях Ханнуоба и Халаха) и частично обособливалась (например, в квартере на поле Удаляньчи). Расчетами в Rb-Sr-изотопной системе получена оценка времени формирования обогащенного источника на границе литосферы и астеносферы под полем Удаляньчи около 98 млн лет назад. Эта оценка соответствует началу новейшего геодинамического этапа.

Источник северного дистального четвертичного поля Нуоминхе среднего расплавного региона находился в нижней части литосферы и подстилающей малоглубинной конвектирующей мантии. Ближе к центральной части сегмента, в районе поля Халаха, вулканизм развивался в два этапа: 1) 10.5–8.0 млн лет назад и 2) <2 млн лет назад. На первом этапе вулканическая деятельность проявилась только на вулканическом поле Халаха, на втором – в западной (монгольской) части этого поля, а также на полях Учагоу (Китай) и Пограничное (Монголия). На первом этапе в восточной (китайской) части поля Халаха извергались выплавки из обедненного глубинного верхнемантийного источника, а в западной части этого же поля – выплавки из обогащенного гранулитового источника нижней части коры. На втором этапе в западной (монгольской) части поля Халаха сначала извергся материал малоглубинной подлитосферной конвектирующей мантии, затем – материал смещения этого компонента с материалом обогащенного гранулитового источника нижней части коры. На поле Учагоу извергались выплавки из литосферной мантии, подобные выплавкам поля Нуоминхе, тогда как на поле Пограничном (ближе к полю Дариганга) извергались выплавки глубинного верхнемантийного источника. Из-за смещения литосферы со скоростью 2–3 см·год<sup>-1</sup> расплавная аномалия глубокой части верхней мантии, проявившаяся около 10 млн лет назад в извержениях на поле Халаха, в последние 2 млн лет оказалась в 250 км к западу-северо-западу под вулканическим полем Буйр-Нур. Следовательно, в осевой части среднего (сегментного) региона Японско-Байкальского геодинамического коридора динамика расплавных аномалий была подобна динамике сильных расплавных аномалий ближнего региона, а динамика его дистальной части – динамике слабых расплавных аномалий дальнего региона.

Мы приходим к заключению о согласованности пространственно-временной смены источников в ближнем и среднем расплавных регионах Японско-Байкальского геодинамического коридора с моделью эволюции расплавных аномалий под движущейся литосферой, первоначально обоснованной для дальнего расплавного региона [3].

Изучение расплавных аномалий Азии проводилось частично в рамках работ Китайско-Российского исследовательского центра Удаляньчи–Байкал по новейшему вулканизму и окружающей среде.

[1] Кожевников В.М., Середкина А.И., Соловей О.А. Дисперсия групповых скоростей волн Рэлея и трехмерная модель строения мантии Центральной Азии // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 10. С. 1564–1575.

- [2] *Рассказов С.В., Ясныгина Т.А., Чувашиова И.С.* Мантийные источники кайнозойских вулканических пород Восточной Азии: производные слэбов, подлитосферной конвекции и литосферы // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33, № 5. С. 47–65.
- [3] *Rasskazov S.V., Chuvashova I.S.* The latest geodynamics in Asia: Synthesis of data on volcanic evolution, lithosphere motion, and mantle velocities in the Baikal-Mongolian region // *Geoscience Frontiers*. 2016. doi:10.1016/j.gsf.2016.06.009.
- [4] *Yanovskaya T.B., Kozhevnikov V.M.* 3D S-wave velocity pattern in the upper mantle beneath the continent of Asia from Rayleigh wave data // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 2003. V. 138. P. 263–278. doi:10.1016/S0031-9201(03)00154-7.
- [5] *Zhao Dapeng, Tian You, Lei Jianshe, Liu Lucy, Zheng Sihua.* Seismic image and origin of the Changbai intraplate volcano in East Asia: Role of big mantle wedge above the stagnant Pacific slab // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 2009. V. 173. P. 197–206.