

Импульсная скользящая транстенсия литосферы от Витимо-Удоканской горячей угловой зоны Японско-Байкальского геодинамического коридора к впадинам оз. Байкал

С.В. Рассказов^{1,2}, И.С. Чувашова^{1,2}

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Обосновывается гипотеза позднекайнозойского импульсного распространения тектонических деформаций литосферы от Витимо-Удоканской зоны угловой горячей транстенсии к впадинам оз. Байкал. Зарождение импульсов обозначается по вулканическим интервалам осевого Витимского поля Японско-Байкальского геодинамического коридора (ЯБГК) и их развитие – по вулканическим интервалам его периферического Удоканского поля.

Ключевые слова: кайнозой, Азия, Байкал, Японско-Байкальский геодинамический коридор, литосфера, транстенсия, вулканизм.

Pulsary Sliding Transtension of the Lithosphere from the Vitim-Udokan Hot Angular Zone of the Japan-Baikal Geodynamic Corridor to Basins of Lake Baikal

S.V. Rasskazov^{1,2}, I.S. Chuvashova^{1,2}

¹Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Abstract. The hypothesis of the late Cenozoic pulsary propagation of tectonic deformations of the lithosphere from the Vitim-Udokan angular hot transtension zone to basins of Lake Baikal is substantiated. The origin of pulses is designated by volcanic intervals of the axial Vitim field of the Japan-Baikal geodynamic corridor (JBGC) and their development – by volcanic intervals of its peripheral Udokan field.

Keywords: Cenozoic, Asia, Baikal, Japan-Baikal geodynamic corridor, lithosphere, transtension, volcanism.

Введение

Вопрос о характере и причинах проявления тектонических процессов во впадинах оз. Байкал ставился неоднократно. Предлагались различные решения. В настоящее время этот вопрос должен перейти из категории предварительных моделей в практическую плоскость изучения сейсмической угрозы землетрясений в Байкальской рифтовой системе (БРС). Необходимо выстроить систему мониторинга процессов, сопутствующих землетрясениям, в которой изначально должны проясниться закономерности пространственно-

временного развития деформаций в литосфере. В связи с этим простая констатация той или иной тектонической модели не достаточна, важна ее аргументация.

По строению рельефа, Е.В. Павловским (1948) была выдвинута гипотеза о впадинах оз. Байкал как впадинах–рампах, а Н.А. Флоренсовым (1960) – гипотеза об этих впадинах как впадинах–рифтах. В.П. Солоненко (1968; Солоненко и др., 1966) была высказана идея о распространении рифтогенеза от впадин оз. Байкал на сейсмически-активное северо-восточное окончание Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). Эта идея была поддержана

Н.А. Логачевым (1974, 2003), который по анализу пространственно-временного распространения осадочных формаций предположил наличие в БРЗ исторического ядра, роль которого должна была играть Южно-Байкальская впадина. В основу этой гипотезы было положено предположение о наличии в разрезе дельты Селенги палеоценовых отложений. Предположение о начале тектонических движений в Южно-Байкальской впадине в середине олигоцена (около 30 млн лет назад) служило в качестве основы для гипотезы об активном поднятии аномальной мантии под центральной частью БРЗ (Logatchev, Zorin, 1992). В дельте Селенги и в Мишихинском разрезе, однако, вскрыты отложения не древнее эоценовых (Аль Хамуд и др., 2021). До сих пор вопрос о палеоценовых отложениях в Южно-Байкальской впадине остается открытым, тогда как на флангах оз. Байкал, в Предбайкальском и Селенгино-Витимском прогибах, охарактеризованы осадочные отложения широкого возрастного диапазона от пограничных мел-палеогеновых слоев до четвертичных (Павлов и др., 1976; Рассказов и др., 2007).

В.Д. Мацем (2015), вслед за Н.А. Логачевым, также предполагалось наличие наиболее древних (палеогеновых) осадочных отложений в Южно-Байкальской впадине. К палеогену им относился мощный сейсмозональный слой, выделенный на профиле (Hutchinson et al., 1992). Эоцен-олигоценовые слои, вскрытые в Мишихинском разрезе Танхойской тектонической ступени Южного Байкала, представлены, однако, слоистым аллювием, подобным миоценовому аллювию впадин байкальского типа. Вряд ли осадочные породы с такой литологией сейсмически прозрачны. Это свойство сейсмического разреза объясняется наличием однородных милонитов в фундаменте хорошо проработанной шовной зоны Сибирского палеоконтинента (Рассказов и др., 2021). Малая мощность слоистой части разреза (сотни м, возможно, первые км) на сейсмическом профиле (Hutchinson et al., 1992) может свидетельствовать о медленном опускании фундамента байкальских впадин в палеогене и

миоцене, которое подобно по амплитуде опусканию фундамента в сухоходных впадинах БРЗ.

Значительный интерес долгое время вызывала структура северо-востока БРЗ. При анализе четвертичной тектоники Азии обращалось внимание на внешнее сходство кулисообразного сочетания впадин субширотной части БРЗ с распределением разрывов в сдвиговой модели глиняной пасты, что интерпретировалось как показатель растяжения коры с левосторонним смещением вдоль впадин (Molnar, Tapponnier, 1975). Эти движения рассматривались П. Молнар и П. Таппонье в контексте последствий Индо-Азиатской коллизии. Для объяснения возникновения сдвиговой компоненты движений С.И. Шерманом и К.Г. Леви (1977, 1978; Геология..., 1984) предлагалось другое объяснение в связи с вращением Сибирской и Забайкальской «плит» относительно эйлерова полюса, расположенного на плато Путорана. Ими допускалась передача движений между раздвиговыми Северо-Байкальской и Чарской впадинами по единой системе кулис Муйско-Чарского разлома. По статистическому анализу ориентировок осей растяжения в очагах землетрясений в центральной и северо-восточной частях БРЗ Л.П. Зоненшайном и др. (1978) было определено, однако, современное вращение в рифтовой зоне относительно эйлерова полюса, расположенного на ее северо-восточном окончании. Позже модель вращения в рифтовой зоне тестировалась Ю.А. Зориним и Л. Корделом (1991) по гравиметрическим данным и распространялась на более продолжительное время позднего кайнозоя.

Перечисленные идеи, гипотезы и интерпретации имели общий недостаток; в них отсутствовала увязка предполагаемых однонаправленных долговременных тектонических движений в БРЗ с эволюцией кайнозойского вулканизма. Особенно проблематична была связь между структурами БРЗ и вулканизмом Витимского поля. Н.А. Флоренсов (1968, с. 54) писал: «Обилие кайнозойских вулканитов на концах рифтовой зоны и практическое их отсутствие в центральной ее части, наиболее мощной и

глубокой, остаются загадкой, так же как существование в стороне от рифта лавового плато Витимского плоскогорья». Необходимо было, прежде всего, решить вопрос о соотношении этого лавового плато со структурами БРЗ. Между тем, модель вращения в БРЗ с эйлеровым полюсом на ее северо-восточном окончании предполагала продольное изменение характера деформаций, отразившееся в компактности вулканизма Удоканского и Витимского полей и его рассеянном распределении на полях Саяно-Хамардабанской области (Rasskazov, 1994). Из анализа распределения вулканизма и впадин в пространстве и времени следовал вывод об определяющей роли сегментного строения рифтовых структур и их более обширного распространения за структурно-геоморфологическими границами БРЗ в рамках проявления процессов в БРС (Логачев и др., 1996; Рассказов, 1996).

Магмообразование и магмопроницаемость литосферы контролируется структурами растяжения, которые могут относиться к зонам раздвига, пулл-апарт, аккомодации или транстенсии. На структурных окончаниях БРС (в Северо-Восточном Забайкалье и Центральной Монголии) вулканизм контролировался транстенсионными сегментами, хотя по строению транстенсионных сегментов и их соотношениям с вулканическими полями окончания БРС существенно различались между собой. На юго-западе БРС зоны транстенсии сочетались с зонами транспрессии. В Восточно-Саянском параболическом поднятии сегменты транстенсионного типа не получили развития (Рассказов, 1994). На северо-востоке БРС вулканизм контролировался Витимо-Удоканской зоной угловой горячей транстенсии, в которой сочетались Ципа-Муяканский и Муя-Удоканский сегменты. Ципа-Муяканский сегмент с правосторонней транстенсией простирался субмеридионально с небольшим отклонением на северо-северо-восток, Муя-Удоканский сегмент с левосторонней транстенсией протягивался в субширотном направлении. На окончаниях Муя-Удоканского и Ципа-Муяканского сегментов образовались, соответственно, Удоканский и Витимский ареалы позднекайнозойского вулканизма.

Сопряженная активность Ципа-Муяканского и Муя-Удоканского транстенсионных сегментов в единой горячей угловой

Витимо-Удоканской транстенсионной структуре проявила себя в противофазной вулканической деятельности на Витимском и Удоканском полях в последние 16 млн лет. Вулканические импульсы передавались в литосфере и подлитосферной мантии от оси Японско-Байкальского геодинамического коридора (ЯБГК) к его периферии, от Витимского вулканического поля к Удоканскому, вдоль зоны угловой транстенсии, с квазипериодичностью 2.5 млн лет, соответствующей великим циклам эксцентриситета орбитального вращения Земли. В рамках единой вулканической эволюции ЯБГК эффективно действовал механизм создания тектонических усилий от задугового Япономорского бассейна на границе литосферных плит Тихого океана и Азии до Витимо-Удоканской зоны. Распространение деформаций за Витимо-Удоканскую зону ЯБГК повлекло за собой образование Байкало-Верхнеангарского сочетания раздвигового и транстенсионного сегментов, в котором вулканизм отсутствовал (рис. 1).

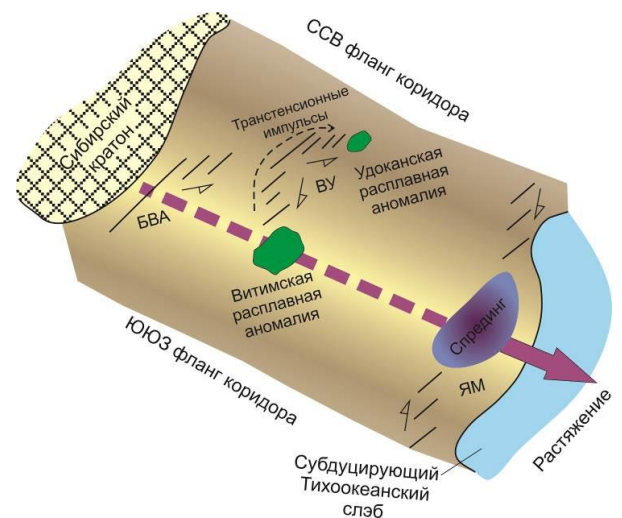


Рис. 1. Схема деформаций литосферы в ЯБГК (Рассказов, Чувашова, 2018). В Япономорском бассейне (ЯМ) развивается задуговой спрединг коры в структуре пулл-апарт. В Витимо-Удоканской зоне (ВУ) проявляется горячая угловая транстенсия. В Байкал-Верхнеангарском угловом сочетании раздвигового и транстенсионного сегментов (БВА) вулканизм отсутствует.

Fig. 1. Scheme of axial extension along the Japan-Baikal Geodynamic Corridor (JBGC) (Rasskazov, Chuvashova, 2018). In the Vitim-Udokan zone (VU), hot angular transtension is displayed. In the Sea of Japan basin (ЯМ), back-arc spreading is developed in a pull-apart structure. No volcanism occur

in the Baikal-Upper Angara angular combination of extensional and transtensional segments (БВА).

Цель настоящей работы – проследить характер передачи синвулканических позднекайнозойских деформаций литосферы, создающихся в Витимо-Удоканской зоне горячей угловой транстенсии ЯБГК, к авулканичным впадинам оз. Байкал.

Механизм образования структуры Витимо-Удоканской зоны горячей угловой транстенсии в ЯБГК

Теоретическая деформация упруго-пластичного литосферного блока обычно реализуется в движениях по разломам, соответствующих распределению касательных напряжений. Образуется симметричный узел активных пересекающихся структур с попарными секторами растяжения и сжатия (рис. 2а). Теоретически возможен случай приложения силы к основанию деформируемого блока, который приводит к нарушению симметрии до полной концентрации движений в пределах одного сектора, ограниченного активными разломами. Сектор растяжения ограничивается разломами с косым растяжением (рис. 2б). Упруго-пластичный литосферный блок деформируется с движениями по зонам разломов, в которых образуются эшелонированные разрывы растяжения (рис. 2в). Этот случай соответствует маркированной впадинами и вулканическими полями структуре верхней части коры, деформированной в результате затягивания мантийного материала от периферии к оси ЯБГК в Витимо-Удоканской зоне горячей угловой транстенсии (рис. 3).

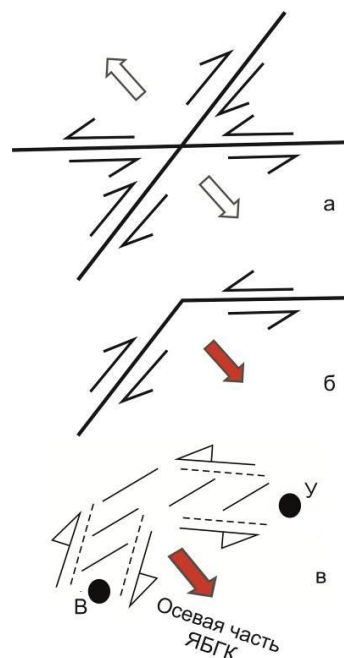


Рис. 2. Иллюстрации образования разрывов: *а* – теоретическая деформация упруго-пластичного литосферного блока в условиях его растяжения, *б* – теоретическая деформация в условиях преимущественного действия силы в квадранте растяжения и *в* – наблюдаемые деформационные эффекты асимметричной угловой горячей транстенсии упруго-пластичной литосферы северо-восточной части БРС при затягивании ее материала с периферии к оси ЯБГК. На панели *в* схематично показаны эшелонированные разрывы растяжения, маркированные впадинами, и местоположение Витимской (В) и Удоканской (У) расплавных аномалий.

Fig. 2. Illustrations of rupture formation: *a* – theoretical general deformation of an elastic-plastic lithospheric block under extension, *б* – theoretical deformation under predominant force in an extension quadrant, and *в* – observed deformation effects of asymmetric angular hot transtension of an elastic-plastic lithosphere in the northeastern parts of the BRS with pool-to-axis material from the periphery of the JPGC. Panel *в* schematically shows echeloned tensile faults, marked by basins, and the location of the Vitim (B) and Udokan (Y) melting anomalies.

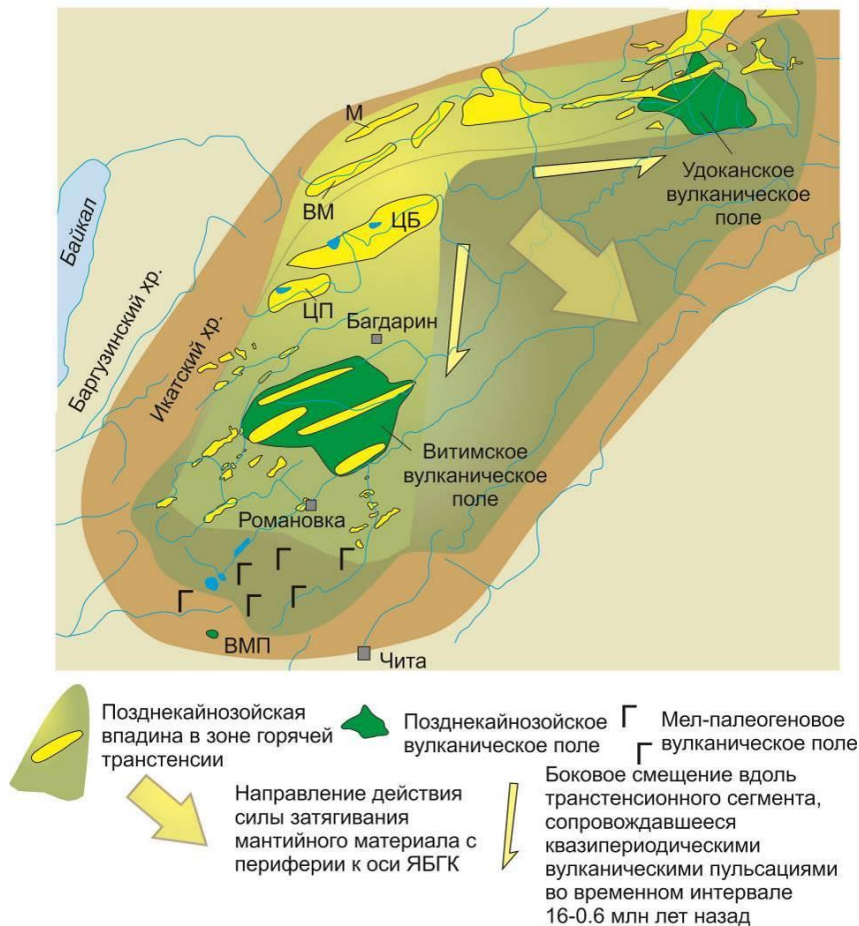


Рис. 3. Положение Витимского и Удоканского вулканических полей в морфоструктуре Витимского бассейна (Рассказов, Чувашова, 2018). На юго-западном замыкании бассейна находится плиоценовое Верхнемохейское вулканическое поле (ВМП). Южную часть субмеридионального Ципа-Муяканского транснессионного сегмента составляют погребенные палеодолины Витимского вулканического поля, центральную часть сегмента – Ципа-Баунтовская (ЦБ), Ципиканская (ЦП), входящие в контур Витимской морфоструктуры, и северное окончание сегмента – Верхнемуяйская (ВМ) и Муяканская (М) впадины, расположенные в северном горном обрамлении Витимской морфоструктуры. Эту часть ее обрамления образуют структуры субширотного Муя-Удоканского транснессионного сегмента.

Fig. 3. The position of the Vitim and Udokan volcanic fields (ВП, УП) in the morphostructure of the Vitim Basin (Rasskazov, Chuvashova, 2018). The Pliocene Upper Mokhei volcanic field (ВМП) occurs in the southwestern terminus of the basin. The southern part of the north-south Tsipa-Muyakan transtensional segment consists of the buried paleovalleys of the Vitim volcanic field: Northern (С), Central (Ц), Southern (Ю), and Vitim (В). The central part of the segment is formed by the Tsipa-Baunt (ЦБ) and Tsipikan (ЦП) basins that are included into the contour of the morphostructure of the Vitim Basin. The northern end of the segment is created by the Upper Muya (ВМ) and Muya (М) basins that are located in the mountain frame of the morphostructure of the Vitim Basin. The northern part of the latter is framed by the structures of the west-east Muya-Udokan transtensional segment.

Активность Витимской и Удоканской расплавленных аномалий

Геодинамическая сущность Витимо-Удоканской угловой транснессионной структуры выявляется через сравнительный анализ ее вулканических (горячих) частей: витимской

и удоканской (табл. 1). Почти по каждому параметру, указанному в таблице, наблюдаются различия расплавленных аномалий при главенствующем значении Витимской и подчиненном – Удоканской. Такие соотношения обусловлены положением первой в оси ЯБГК, второй – на его северо-северо-восточном фланге.

Сопоставление параметров Витимской и Удоканской расплавных аномалий в Витимо-Удоканской угловой горячей транстенционной зоне

Comparison of parameters of the Vitim and Udokan melting anomalies in the Vitim-Udokan angular hot transtensional zone

Расплавная аномалия	Витимская	Удоканская
Транстенсия в ЯБГК	Осевая	Фланговая
Структурный сегмент: простира-ние, протяженность	Ципа-Муяканский: субмеридиональный, 300 км	Муя-Удоканский: субширот-ный, 250 км
Морфоструктура: морфоструктурный элемент, отражающийся в вулканизме	Витимский бассейн: лито-сферный резургентный купол вулканоструктуры Антасе	Хребты северного обрамления Витимского бассейна, новооб-разованный хр. Удокан
Вулканизм, предшествующий позднему кайнозою	Эпизодические извержения в палеогене	Отсутствует
Позднекайнозойское вулкани-ческое поле: площадь и объем продуктов извержений	Витимское, 10 тыс. км ² , 7–8 тыс. км ³	Удоканское, 3 тыс. км ² , 5–7 тыс. км ³
Начальный позднекайнозой-ский импульс: время и состав вулканических пород	Береинский и Амундинский вулканические центры: 16–13 млн лет назад, высоко-Мg базаниты и пикроба-зальты, андезибазальты	Северная вулканоструктура: 14 млн лет назад, высоко-Мg оливиновые лей-цититы
Последующие импульсы вул-каноструктур и состав вулка-нических пород	Вулканоструктура Антасе, средне-позднемиоценовый, 14–9 млн лет назад, Вулканоструктура Антасе, плиоцен-эоплейстоценовый, 5.2–1.8 млн лет назад, Вулканоструктура Ингур-Ма-лоамалатская, неоплейстоцен-голоценовый, 1.1–0.6 млн лет назад, базальты, базаниты, фоно-тефриты	Вулканоструктура Восточная, Позднемиоценовый, 8.9–7.4 млн лет назад, Вулканоструктуры Централь-ная, Северная и Западная, 4.0–1.7 млн лет назад, Вулканоструктура Западная, <0.7 млн лет назад, высоко щелочная серия база-нит–фонотефрит, умеренно щелочная серия щелочной оливиновый базальт–трахит
Родственные включения, глубины кристаллизации	Мегакристаллы, мантийные уровни гранатовой и шпинеле-вой фаций, в основном 100–60 км	Полиминеральные кумуляты, мегакристаллы, подкоровая мантия, кора <60 км
Чужеродные включения, глубины отторжения	Коровые и мантийные по-роды, <100 км	Коровые и мантийные породы шпинелевой фации, <60 км
Глубины плавления, км: гранатсодержащие породы (включения), высоко-Мg лавы возрастом 16–14 млн лет, андезибазальты возрастом 14–13 млн лет, последующие лавы (динамо-метаморфическая сегрегация)	270–250 км, 150–115 км, ~60 км, 60–100 км	Нет, ~100 км, нет, <100 км
Время гомогенизации мантий-ных источников вулканизма, изотопная система	Распад суперконтинента Ро-диния в рифее, 660–640 млн лет назад, Sm–Nd, U–Pb	Становление ранней лито-сферной мантии и коры в га-дее, ~4.51 млрд. лет назад, U–Pb
Докайнозойский фундамент	Коллаж террейнов позднего докембрия и палеозоя, Ан-гаро-Витимский батолит и по-следующие гранитоиды, ак-тивные мезозойские струк-туры	Край Алданского щита фунда-мента Сибирской платфор-мы, край Ангаро-Витимского ба-толита, мезозойский Чукчу-динский грабен

Примечание: характеристики вулканических полей приведены в таблице по данным из монографии (Рассказов, Чувашова, 2018).

На Витимском плоскогорье позднекайнозойскому вулканизму предшествовал вулканизм раннего-среднего кайнозоя, в районе хр. Удокан вулканизм раннего-среднего кайнозоя отсутствовал и проявился только в позднем кайнозое.

После запуска трансензионного импульса во временном интервале 16–13 млн лет назад в Витимской расплавной аномалии возобновлялись импульсы продолжительного вулканизма 14.4–9.2, 5.2–2.9 и эпизоды сокращенного по времени вулканизма 6.7–6.3 и 1.8–1.7 млн лет назад в окружении литосферного резургентного купола Антасе. Максимальный вулканизм временного интервала 12–9 млн лет назад характеризовался образованием четырех новых крупных вулканических центров: Амундинского, Яоле, Намару и Количиканского. Мощные извержения проявились и на небольшом Мухальском вулканическом центре. После 9 млн лет назад интенсивность вулканической деятельности снизилась. В интервале 6.7–6.3 млн лет назад был активным только центр Намару. Новый импульс вулканизма 5.2–2.9 млн лет назад выразился резким расширением ареала вулканических центров, действовавших в окружении литосферного резургентного купола. Затем вновь последовал перерыв в вулканической деятельности, продолжавшийся около 1 млн лет. Около 1.8–1.7 млн лет назад был активным только Амундинский центр. На рубеже эоплейстоцена и неоплейстоцена, в интервале 1.1–0.6 млн лет назад, вулканизм проявился вдоль субмеридиональной Ингур-Малоамалатской зоны, расположенной по касательной к литосферному резургентному куполу восточнее его. В последние 0.6 млн лет вулканическая деятельность не возобновлялась.

Термальный импакт начального высоко-температурного материала, поднявшегося

адиабатически в мантии под Витимским полем, повредил литосферу под Береинским вулканическим центром. Хотя литосфера сместилась относительно начальной термальной аномалии и в дальнейшем не испытывала ее влияния, в поврежденном участке литосферы вулканизм неоднократно возобновлялся. Такое же начальное повреждение литосферы случилось около 14 млн лет назад под северной частью Удоканского поля. Между поврежденными участками литосферы двух полей образовалась ослабленная трансензионная зона, через которую осуществлялась передача импульсов от Витимской расплавной аномалии к Удоканской.

После начальной фазы последовали три импульсных передачи: 1) от интервала 14.4–9.2 млн лет назад Витимского поля к интервалу 8.9–8.5 млн лет назад Удоканского; 2) от интервала 5.0–2.9 млн лет назад Витимского поля к интервалу 4.0–2.4 млн лет назад Удоканского и, наконец, 3) от интервала 1.1–0.6 млн лет назад Витимского поля к интервалу 0.7–0.002 млн лет назад Удоканского. Наряду с запаздыванием, проявились два коротких эпизода синхронизации вулканизма Витимского и Удоканского полей около 7.5–6.3 и 1.8–1.7 млн лет назад (рис. 4).

Распространение позднекайнозойских деформационных импульсов

Кроме горячей угловой Витимо-Удоканской зоны, в северо-восточной и центральной частях БРС образовались авулканичные угловые зоны: Байкал-Верхнеангарская и Баргузин-Ольхонская. По отношению к оси ЯБГК Витимо-Удоканская зона угловой трансензии расположена фронтально, Байкал-Верхнеангарская – в тылу Витимо-Удоканской, Баргузин-Ольхонская – между Витимо-Удоканской и Байкал-Верхнеангарской.

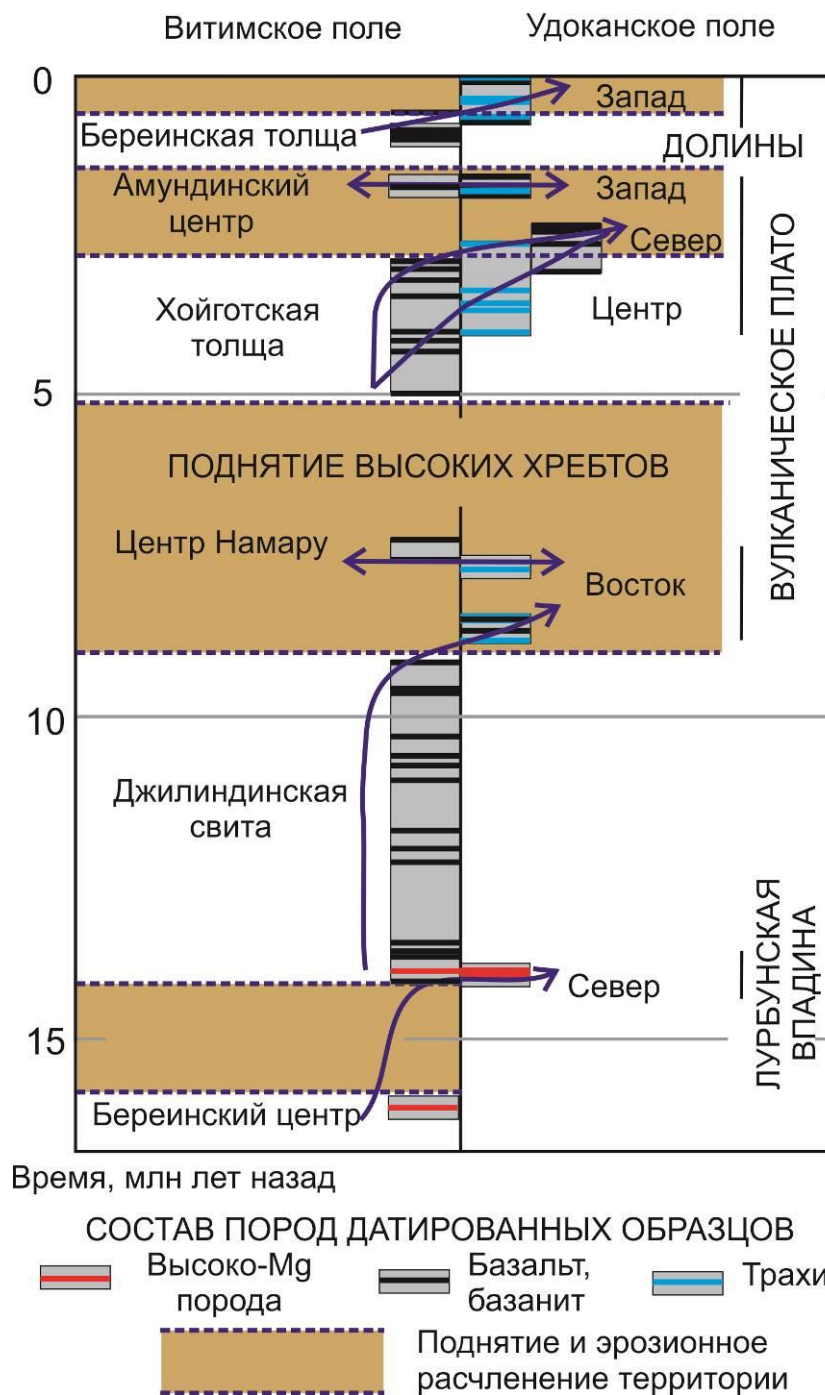


Рис. 4. Распространение деформационных импульсов в Витимо-Удоканской зоне транстенсии от Витимской расплавной аномалии, расположенной в осевой части ЯБГК, к Удоканской расплавной аномалии, проявившейся в его периферической части (Chuvashova et al., 2017a; Рассказов, Чувашова, 2018). Стрелки показывают запаздывание вулканических эпизодов Удоканского поля относительно эпизодов Витимского поля. Двусторонние стрелки обозначают синхронные вулканические эпизоды.

Fig. 4. Propagation of deformation impulses in the Vitim-Udokan transtension zone from the Vitim melting anomaly, located at the axial part of the Japan-Baikal geodynamic corridor, to the Udokan melting anomaly, displayed in its peripheral part (Chuvashova et al., 2017a; Rasskazov, Chuvashova, 2018). Arrows show lags of volcanic episodes of the Udokan field relative to the ones of the Vitim field. Two-sided arrows indicate synchronous volcanic episodes.

Фронтальная угловая зона генерировалась силой затягивания от периферии к оси ЯБГК. Тектонические движения в тыловой зоне

были производными движений во фронтальной зоне. Промежуточная угловая зона создавалась двумя силами: основной,

направленной вдоль оси ЯБГК, от Витимской расплавной аномалии через Баргузинскую долину к Северо-Байкальской впадине, и дополнительной, направленной от фронтальной Витимо-Удоканской зоны через тыловую Байкал-Верхнеангарскую к Баргузин-Ольхонской зоне угловой трансенсии.

Вместе с импульсной активизацией Муя-Удоканского сегмента на его западном продолжении вовлекались в движения структуры Рель-Верхнеангарского сегмента.

Тектонические импульсы передавались через Рельский угол в Северо-Байкальскую впадину. Между витимскими структурами осевой части ЯБГК и Северо-Байкальской впадиной развивалась цепочка впадин Баргузинской долины. Через угол Уро юга Баргузинской долины тектонические импульсы передавались вдоль Ямбуйского трансенсионного сегмента в акваторию Байкала до о-ва Ольхон (рис. 5).

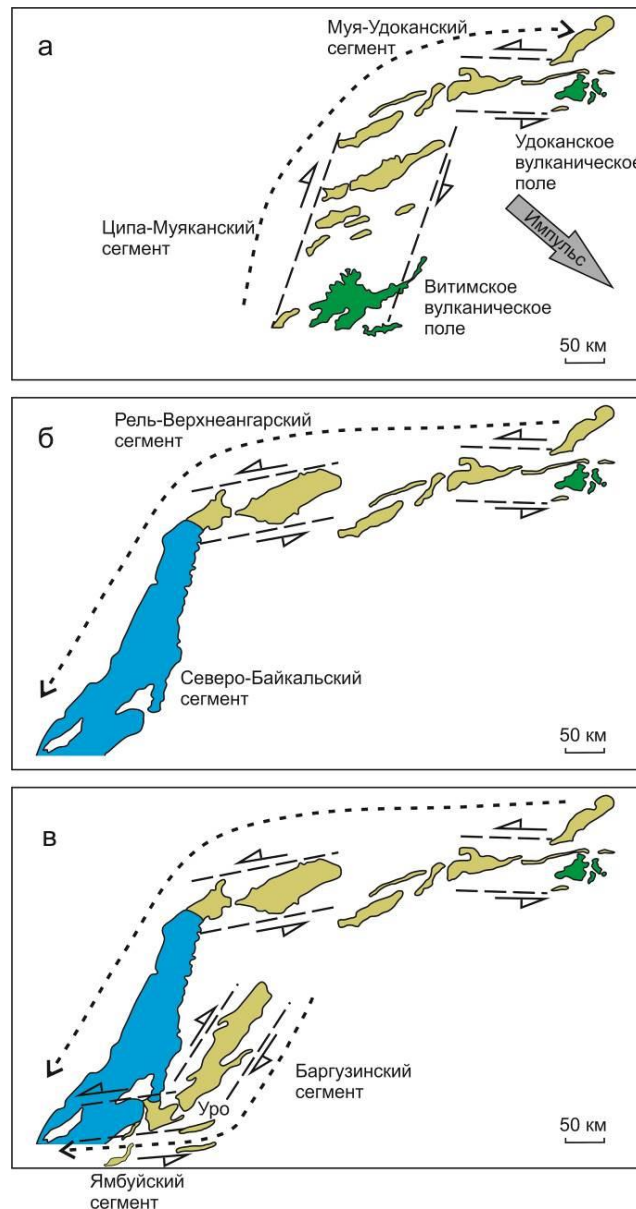


Рис. 5. Схема отдельного импульса активизации в последовательности: Витимо-Удоканской фронтальной угловой горячей зоны трансенсии (а), Байкал-Верхнеангарской тыловой угловой трансенсионно-раздвиговой зоны (б) и Баргузин-Ольхонской средней угловой трансенсионной зоны (в).

Fig. 5. Scheme of a single pulse of reactivation in the sequence: Vitim-Udokan frontal angular hot transension zone (a), Baikal-Verkhneangarsk back-side angular transension-extension zone (b), and Barguzin-Olkhon middle angular transension zone (v).

Очередной позднекайнозойский тектонический импульс, зарождающийся фронтально в оси горячей Витимской расплавной аномалии ЯБГК, сопровождается тектоническими деформациями, достигающими структур Среднего Байкала опосредованным путем. Здесь складываются условия для взаимного наложения сил, действующих во время каждого импульса опосредованно через активизацию Байкал-Верхнеангарской тыловой угловой трансензионно-раздвиговой зоны и Баргузин-Ольхонской средней угловой трансензионной зоны.

Обсуждение

Вулканизм БРС характеризуется как процесс, составляющий иерархию квазипериодических импульсных событий шести уровней: 1) 22 млн лет, 2) 2.0–2.5 млн лет, 3) 0.3 млн лет, 4) 14 тыс. лет, 5) 2.2 тыс. лет и 6) первые сотни лет с последним событием в 1720–1721 гг. На северо-востоке БРС отчетливо проявляются события четвертого и

пятого иерархических уровней (Расказов и др., 2005). Для перераспределения тектонических деформаций от ЯБГК к байкальским впадинам важнейшее значение имеет квазипериодичность второго иерархического уровня (2.0–2.5 млн лет).

Инициальный высоко-Mg вулканизм 16–13 млн лет назад

В качестве отправного пункта позднекайнозойской эволюции вулканизма Витимского поля служат начальные извержения высоко-Mg базанитов и пикробазальтов Береинского центра, сменяющиеся извержениями андезибазальтов (Chuvashova et al., 2017b). С течением времени литосфера смещается относительно корневой подлитосферной части расплавной аномалии в направлении на восток-юго-восток со скоростью 2–3 см/год. В результате такого движения подлитосферная термальна́я аномалия оказывается через 1.5–2 млн лет, приблизительно, в 40 км от исходной точки, на Амундинском вулканическом центре (рис. 6).

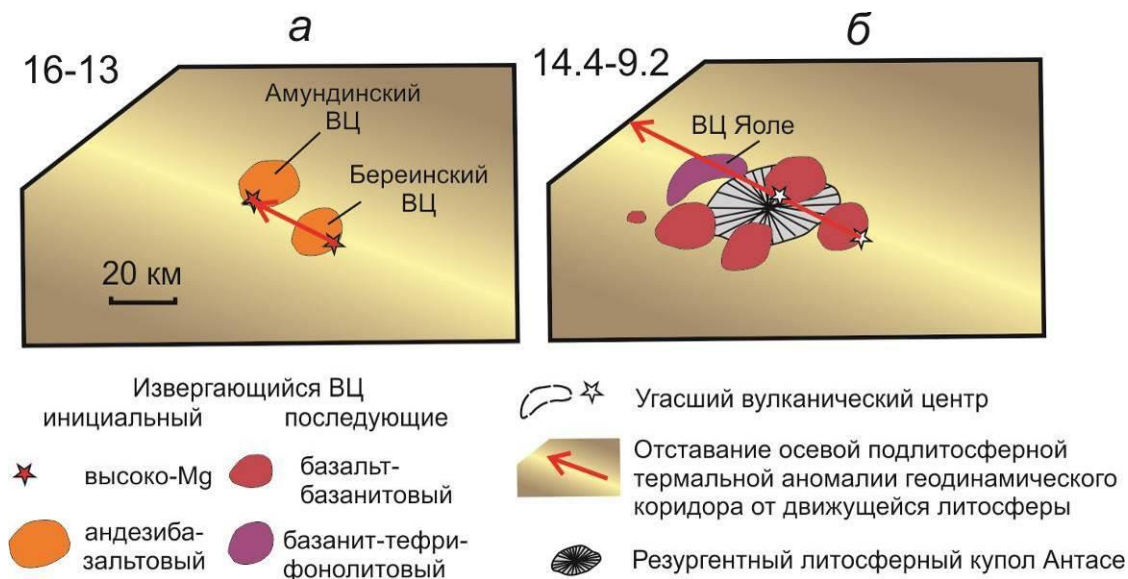


Рис. 6. Распределение начального (а) и последующего (б) вулканизма на Витимском поле как следствие смещения литосферы от подлитосферной горячей аномалии.

Fig. 6. Distribution of initial (a) and subsequent (b) volcanism in the Vitim field as a consequence of the lithosphere shift from a sub-lithospheric hot anomaly.

Инициальные высоко-Mg извержения Береинского вулканического центра сопровождаются началом эрозионного расчленения территории. Термальное воздействие на движущуюся литосферу влечет за собой формирование литосферного резургентного купола Антасе с его глубоким эрозионным

расчленением. Высоко-Mg (пикробазальтовые) и умеренно-Mg (андезибазальтовые) лавы Амундинского центра изливаются около 14–13 млн лет назад в сформировавшиеся каньоны, частично заполненные осадками. В отличие от Береинского вулканического центра, в котором высоко-Mg базаниты

и пикробазальты сменяются андезибазальтами, на Амундинском вулканическом центре лавы пикробазальтов залегают в разрезе выше андезибазальтов, в переслаивании с умеренно-Mg базанитовыми лавами.

Высоко-Mg оливин-лейцититовый вулканизм Северной вулканоструктуры Удоканского поля проявляется позже начальной фазы высоко-Mg вулканизма Береинского центра Витимского поля и предшествует его андезибазальтовой фазе.

От вулканизма 14–9 млн лет назад Витимского поля к вулканизму 8.9–8.5 млн лет назад Удоканского поля

Смещение литосферы приводит к тому, что через 2–3 млн лет после первого проявления инициального вулканизма на Береинском центре подлитосферная термальная аномалия находилась уже под центральной частью структуры Антасе, а еще через 3–4 млн лет – за северо-западной границей Витимского поля. В дальнейшем магматизм инициального типа на Витимском поле не возобновляется. Около 9.2 млн лет назад, на вулканическом центре Яоле (северо-западная граница поля) проявляется дифференцированная серия базанит–тефрifoнолит, обозначающая финал вулканических извержений временного интервала 14.4–9.2 млн лет назад.

Сохранившийся фрагмент щелочно-оливин-базальтового лавового потока возрастом около 13.7 млн лет, фиксирующий эродированное днище погребенного каньона на Мухальском вулканическом центре, имеет небольшую мощность (первые метры). Его наличие свидетельствует о щелочно-оливин-базальтовых извержениях, синхронных с инициальными пикробазальт-андезибазальтовыми извержениями Береинского и Амундинского центров.

В интервале 8.9–8.5 млн лет назад вулканизм проявляется на востоке Удоканского поля с последующим угасанием. Пространственное перераспределение вулканизма с Витимского поля на Удоканское свидетельствует о перераспределении тектонической активности от Цыпа-Муяканского сегмента к Муя-Удоканскому.

Эпизод 7.5–6.3 млн лет назад

В интервале 9–5 млн лет назад вулканизм Витимского поля в целом ослабевает. Активность проявляется 6.7–6.3 млн лет назад на единственном вулканическом центре Намару. Близкие по времени извержения имеют место в восточной части Удоканского поля около 7.5 млн лет назад. В это время в Удоканской части ЯБГК предполагается инверсия движений астеносферы относительно литосферы (Рассказов, Чувашова, 2018). Эпизод Намару в совокупности с инверсией движений в районе Удоканского вулканического поля дает репер существенных изменений глубинных процессов ЯБГК.

На Среднем Байкале в позднем миоцене уже существует глубокое озеро в районе о-ва Ольхон (Лут и др., 1984), тогда как западная часть Байкальской впадины в это время остается суходольной (Рассказов и др., 2023б).

Эпизод 5.2–2.4 млн лет назад

Этот эпизод обозначает переход от накопления хойтогольской толщи Витимского поля 5.2–2.9 млн лет назад к накоплению мощных толщ в Центральной и Северной вулканоструктурах Удоканского поля 4.0–2.4 млн лет назад. Эпизод, начинающийся на рубеже миоцена и плиоцена на Витимском поле, получает развитие на Удоканском поле с выходом на события 3.2–2.4 млн лет назад в Северной вулканоструктуре, во время которых происходит структурная перестройка 2.6 млн лет назад.

Переход от перестройки 2.6 млн лет назад к синхронизации вулканических и тектонических процессов 1.8–1.7 млн лет назад

Во время структурной перестройки в северной части Удоканского вулканического поля около 2.6 млн лет назад резко меняется ориентировка даек одновременно со сменой источников магматических расплавов. За гавайитовыми магмами, извергающимися 2.6 млн лет назад из безгранатовых источников коро-мантийного перехода, следуют базанитовые (тефритовые) магмы из источников более глубокой гранатсодержащей мантийной области.

Тектоническая активность Среднего Байкала может ослабевать после 2.6 млн лет назад, но затем усиливаться за счет импульса от Муя-Удоканского сегмента. Наблюдается синхронность вулканизма 1.8–1.7 млн лет на Витимском поле и на западе Удоканского, которая свидетельствует о состоянии общей организации (самоорганизации) вулканических и тектонических процессов, вовлечении в деформации литосферы всего сечения ЯБГК от оси до периферии. Эти сквозные деформации могут быть выражены в усилении тектонических движений на Среднем Байкале.

Сценарий пространственного перераспределения тектонических деформаций в последние 1.1 млн лет

Запуск последнего позднекайнозойского деформационного импульса на северо-востоке БРС обозначается вулканизмом Витимского поля 1.1–0.6 млн лет назад при его распространении на Удоканское поле, начиная с 0.7 млн лет назад. Во временном интервале последних 1.1 млн лет импульс передается от Муя-Удоканского сегмента через тыловую Байкал-Верхне-Ангарскую трансензионно-раздвиговую угловую структуру к Баргузин-Ольхонской зоне угловой трансенсии. Эта передача сил поддерживается до настоящего времени в режиме заключительной части событий второго иерархического уровня, поскольку вулканизм Удоканского поля продолжается.

С одной стороны, Витимское плоскогорье осевой части ЯБГК в настоящее время представляет собой низкую территорию, слабо расчлененную речными долинами и окруженную горными хребтами. Вулканическая деятельность угасает здесь 0.6 млн лет назад

с общим снижением тектонической активности и оказывается за структурно-геоморфологической границей БРЗ. С другой стороны, многочисленные вулканические события Удоканского поля в последние 0.7 млн лет обозначают высокую активность Муя-Удоканского сегмента, которая трансформируется через Байкал-Верхне-Ангарскую и Баргузин-Ольхонскую угловые структуры в развитие быстро погружающихся впадин глубокого Байкала.

События последних 14.4 тыс. лет

Последние вулканические извержения Удоканского поля выстраиваются в событийный ряд, начинающийся 14400 ± 1600 лет назад и завершающийся извержением вулкана Чепе 2040 ± 80 лет назад (календарные даты). Следующее извержение ожидается около 2050 г.

На фоне общей передачи деформационного импульса последних 14.4 тыс. лет направленность действующих сил изменяется около 8.8 тыс. лет назад (календарная дата). До этого рубежа извержения контролируются разрывами северо-западной ориентировки, после него – разрывами северо-восточного простирания (рис. 7). В начале интервала извергаются базальтовые и трахитовые магмы, около 8.8 тыс. лет назад они смешиваются между собой, а в дальнейшем извергаются трахиты, связанные с опущением магматических камер коры. Можно предположить, что тектонические деформации в коре хр. Удокан с 14.4 до 8.8 тыс. лет назад нарастают, а с 8.8 тыс. лет назад до настоящего времени – снижаются.

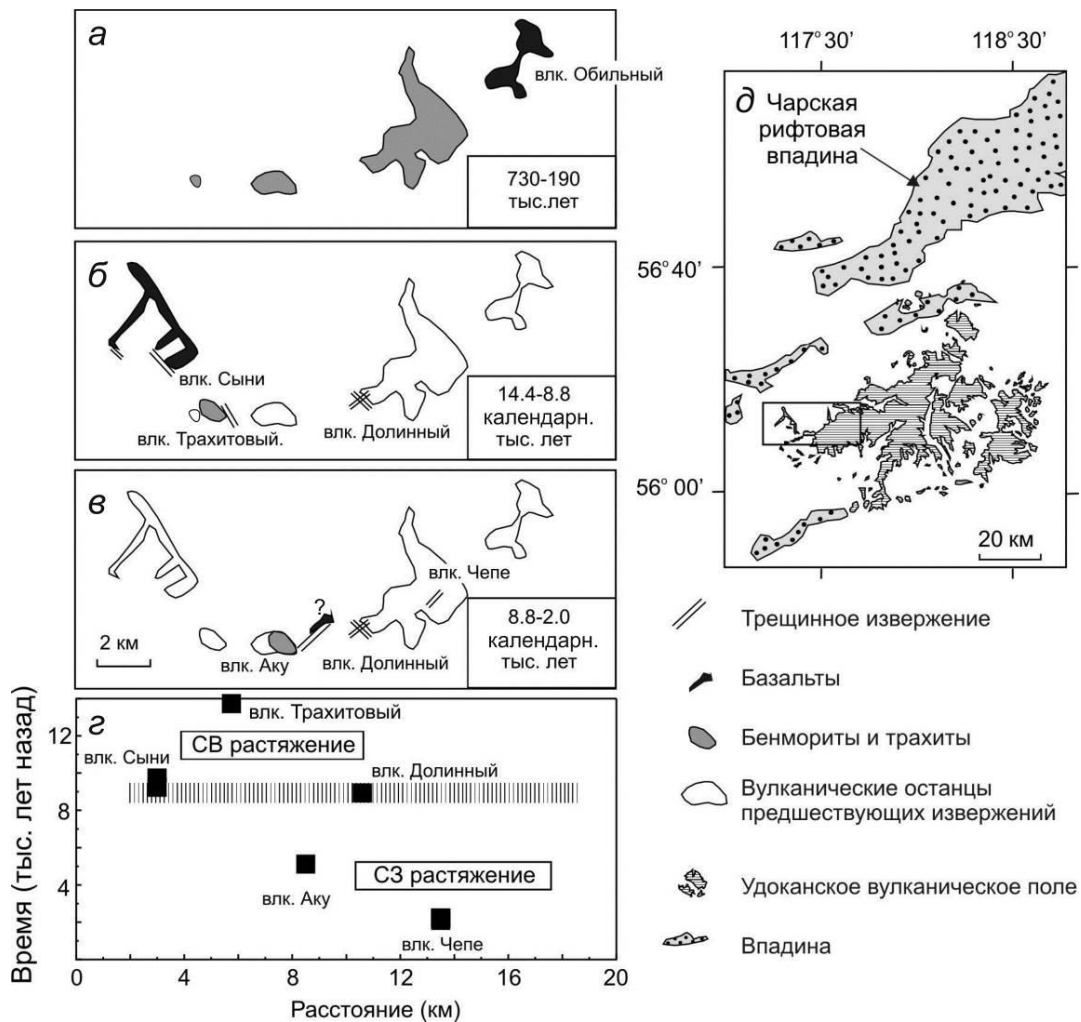


Рис. 7. Структурная перестройка в зоне неоплейстоцен-голоценового вулканизма. *a–в* – пространственное распределение действовавших вулканов; *г* – интерпретация смены напряженного состояния коры; *д* – местоположение зоны.

Fig. 7. Scheme of structural reorganization in the zone of Neopleistocene-Holocene volcanism. *a–в* – spatial distribution of active volcanoes; *г* – interpretation of the stress change in the crust; *д* – location of the zone.

В Муйско-Куандинской впадине синтетоническая смена седиментации обозначается датировками ^{14}C 58.0–56.5, 39.0–36.5, 24.0–22.3 и 13.5–12.9 тыс. лет. Измеренное значение 12050 ± 650 лет назад календарной датировки 14.4 тыс. лет первого вулканического события на хр. Удокан несколько меньше начала тектонического эпизода в Муйско-Куандинской впадине (интервал ^{14}C 13.5–12.9 тыс. лет назад). Из этих соотношений вырисовывается сценарий, в котором, тектонический импульс инициируется в Муйско-Куандинской угловой впадине Витимо-Удоканской зоны трансенсии, быстро (в течение нескольких сотен лет) достигает хр. Удокан и после 8.8 тыс. лет назад получает отдачу с обратным смещением

деформаций, которые распространяются через Муйско-Куандинскую впадину к Байкал-Верхнеангарской и Баргузин-Ольхонской угловым зонам. Тектоническая активность может ослабевать на Среднем Байкале в начале последнего иерархического интервала (с 14.4 до 8.8 тыс. лет назад), но усиливаться от Муя-Удоканского сегмента и концентрироваться на Среднем Байкале к его концу (после 8.8 тыс. лет назад).

Индикаторная роль сейсмичности и гидротерм

Низкая современная тектоническая активность на Витимском плоскогорье закономерно отражается в отсутствии сейсмичности. С учетом общей тенденции передачи позднекайнозойских тектонических

импульсов от фронтальной Витимо-Удоканской зоны к тыловой Байкал-Верхне-Ангарской и средней Баргузин-Ольхонской зонам, можно предположить, что подобный импульсный сценарий соблюдается и в настоящее время в пространственно-временном распространении землетрясений. Это предположение требует подтверждения конкретными наблюдениями распределения эпицентров во времени и пространстве.

Кроме сейсмичности, о характере современной тектонической активности угловых структур свидетельствует распространение гидротерм. В условиях снижения тектонической активности на Витимском плоскогорье гидротермальная деятельность (также как вулканизм) на этой территории отсутствует. В Верхне-Ангарском и других тектонических сегментах, активность которых связана с горячей трансенсией последних 0.7 млн лет в Муя-Удоканском сегменте, гидротермы не редкость. В Ольхон-Баргузинской зоне угловой трансенсии, в углу между Центрально-Баргузинским и Ямбуйским трансенсионными сегментами, на юге Баргузинской долины находится Средне-Байкальская геотермальная аномалия. Гидротермы распространяются к акватории Байкала по направлению к подводному Академическому хребту. Ямбуйский трансенсионный сегмент пересекает Средне-Байкальскую геотермальную аномалию (Рассказов и др., 2023а).

Заключение

Импульсное распределение вулканизма на северо-востоке БРС объясняется в рамках модели ее сегментного строения и эволюции в составе ЯБГК. Эта модель объясняет расположение Витимского вулканического поля за структурно-геоморфологической границей БРЗ.

В рамках модели обосновывается гипотеза о позднекайнозойском импульсном распространении тектонических деформаций литосферы от фронтальной Витимо-Удоканской зоны угловой горячей трансенсии ЯБГК к впадинам оз. Байкал. Импульсы образуют иерархическую систему. Каждый обозначается по вулканическим интервалам осевого Витимского поля ЯБГК и периферического Удоканского. Развитие деформаций в

Байкал-Верхне-Ангарской и Баргузин-Ольхонской угловых структурах растяжения маркируется по вулканическим интервалам периферического Удоканского поля.

Благодарности

Работа подготовлена при выполнении госзадания ИЗК СО РАН на 2021–2025 гг. “Современная геодинамика, механизмы деструкции литосферы и опасные геологические процессы в Центральной Азии” (FWEF-2021-0009) и плана НИР геологического факультета ИГУ.

Литература

Аль Хамуд А., Рассказов С.В., Чувашова И.С., Трегуб Т.Ф., Рубцова М.Н., Коломиец В.Л., Будаев Р.Ц., Хассан А., Волков М.А. Опрокинутая эоцен-нижнеплиоценовая аллювиальная толща на южном берегу оз. Байкал и ее неотектоническое значение // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12, № 1. С. 139–156.

Геология и сейсмичность зоны БАМ. Неотектоника / Шерман С.И., Леви К.Г., Ружич В.В., Саньков В.А., Днепровский Ю.И., Рассказов С.В. Новосибирск: Наука, 1984. 207 с.

Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А., Мишарина Л.А., Солоненко Н. Тектоника плит Байкальской горной области и Станового хребта. Доклады АН СССР. 1978. Т. 240, № 3. С. 669–672.

Зорин Ю.А., Корделл Л. Растяжение земной коры в Байкальской рифтовой зоне по гравиметрическим данным // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1991. № 5. С. 3–11.

Логачев Н. А. Саяно-Байкальское и Становое нагорья // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья / Ред. Н.А. Флоренсов. М.: Наука. 1974. С. 16–162.

Логачев Н.А. История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 5. С. 391–406.

Логачев Н.А., Рассказов С.В., Иванов А.В., Леви К.Г., Бухаров А.А., Кашик С.А., Шерман С.И. Кайнозойский рифтогенез в континентальной литосфере // Литосфера Центральной Азии. Ред. Н.А. Логачев. Новосибирск: Наука, 1996. С. 57–80.

Лут Б.Ф., Власова Л.К., Фиалков В.А., Лещиков Ф.Н., Мирошниченко А.П., Галкин В.И., Карабанов Е.Б., Мизандронцев И.Б., Белова В.А., Логинова Л.П., Хурсевич Г.К., Компанец В.Х.

Литодинамика и осадкообразование Северного Байкала. Новосибирск: Наука, 1984. 290 с.

Мац В.Д. Байкальский рифт: плиоцен (миоцен) – четвертичный эпизод или продукт длительного развития с позднего мела под воздействием различных тектонических факторов. Обзор представлений // Геодинамика и тектонофизика. 2015. Т. 6. № 4. С. 467–489. doi:10.5800/GT-2015-6-4-0190.

Павлов С.Ф., Кашик С.А., Ломоносова Т.К. и др. Кайнозойские коры выветривания и осадочные формации Западного Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1976. 160 с.

Павловский Е. В. Геологическая история и геологическая структура Байкальской горной области. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1948. 175 с.

Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига // Под ред. Н.А. Логачева. Новосибирск: Наука, Сиб. отд.-ие, 1991. 262 с.

Расказов С.В. Сопоставление вулканизма и новейших структур горячих пятен Йеллоустоуна и Восточного Саяна // Геология и геофизика. 1994. № 10. С. 67–75.

Расказов С.В. Вулканизм и структура северо-восточного фланга Байкальской рифтовой системы // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 4. С. 60–70.

Расказов С.В., Чувашова И.С. Вулканизм и транстенсия на северо-востоке Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018. 383 с. ISBN 978-5-6041446-3-3

Расказов С.В., Брандт И.С., Брандт С.Б., Иванов А.В., Ясныгина Т.А., Демонтерова Е.И., Ильясова А.М. Радиоизотопная геология в задачах и примерах. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2005. 268 с.

Расказов С.В., Ильясова А.М., Борняков С.А., Чебыкин Е.П. Горячинская активизация Ямбуйской зоны транстенсии в 2013–2015 гг.: Косейсмическая химическая гидрогеодинамика подземных вод на ЮВ побережье Среднего Байкала // Геология и окружающая среда. 2023а. Т. 3, № 4. С. 108–145. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.4.108>

Расказов С.В., Коломиец В.Л., Будаев Р.Ц., Чувашова И.С., Аль-хамуд А., Хассан А., Алокла Р. Новейшая активизация шовной зоны Сибирского кратона под Южным Байкалом: от мел-палеогенового орогена к неоген-четвертичному

рифту // Геология и окружающая среда. 2021. Т. 1, № 1. С. 7–15.

Расказов С. В., Лямина Н. А., Черняева Г. П., Лузина И. В., Руднев А. Ф., Резанов И. Н. Стратиграфия кайнозоя Витимского плоскогорья: феномен длительного рифтогенеза на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео». 2007. 193 с.

Расказов С.В., Решетова С.А., Ясныгина Т.А., Чувашова И.С., Саранина Е.В., Рубцова М.Н., Аль Хамуд А., Хассан А. Отложения верхнего миоцена-плиоцена Пра-Аносовки как источник аллювия Пра-Манзурки: Добайкальский перенос обломочного материала через Южно-Байкальскую впадину // Геология и окружающая среда. 2023б. Т. 3, № 4. С. 82–107. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.4.82>

Солоненко В.П. Сейсмоструктура и современное структурное развитие Байкальской рифтовой зоны. М.: Изд-во Наука, 1968. С. 57–71.

Солоненко В.П., Тресков А.А., Курушин Р.А. и др. Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья. М.: Наука, 1966. 231 с.

Флоренсов Н.А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М.–Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 258 с.

Флоренсов Н.А. Байкальская рифтовая зона и некоторые задачи ее изучения // Байкальский рифт. М.: Изд-во Наука, 1968. С. 40–56.

Шерман С.И., Леви К.Г. Трансформные разломы Байкальской рифтовой зоны // Доклады АН СССР. 1977. Т. 233, № 2. С. 461–464.

Шерман С.И., Леви К.Г. Трансформные разломы Байкальской рифтовой зоны и сейсмичность ее флангов // Тектоника и сейсмичность континентальных рифтовых зон. М.: Наука, 1978. С. 7–18.

Chuvashova I., Rasskazov S., Sun Yi-min, Yang Chen Origin of melting anomalies in the Japan-Baikal corridor of Asia at the latest geodynamic stage: evolution from the mantle transition layer and generation by lithospheric transtension // Geodynamics & Tectonophysics. 2017a. Vol. 8. No. 3. P. 435–440. Doi.org/10.5800/GT-2017-8-3-0256.

Chuvashova I., Rasskazov S., Yasnygina T. Mid-Miocene thermal impact on the lithosphere by sublithospheric convective mantle material: Transition from high- to moderate-Mg magmatism beneath Vitim Plateau, Siberia // Geoscience Frontiers 2017b. V. 8. P. 753–774. doi: 10.1016/j.gsf.2016.05.011.

Hutchinson D.R., Golmstok A.S., Zonenshain L.P. et al. Depositional and tectonic frame work of the rift basin of lake Baikal from multichannel seismic data // *Geology*. 1992. Vol. 20. P. 589–592.

Logatchev N.A., Zorin Y.A. Baikal rift zone: structure and geodynamics // *Tectonophysics*, 1992. Vol. 208. P. 273–286.

Molnar P., Tapponier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision // *Science*. 1975. Vol. 189, No. 4201. P. 419–426.

Rasskazov S.V. Magmatism related to the East Siberia rift system and the geodynamics // *Bull. Centres Rech. Explor.–Prod. Elf. Aquitaine*. 1994. Vol. 18. No. 2. P. 437–452.

References

Al Hamoud A., Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Tregub T.F., Rubtsova M.N., Kolomiyets V.L., Budaev R.Ts., Hassan A., Volkov M.A., 2021. Overturned Eocene – Lower Pliocene alluvial stratum on the southern coast of Lake Baikal and its neotectonic significance. *Geodynamics & Tectonophysics* 12 (1), 139–156. doi:10.5800/GT-2021-12-1-0518

Chuvashova I., Rasskazov S., Sun Yi-min, Yang Chen Origin of melting anomalies in the Japan-Baikal corridor of Asia at the latest geodynamic stage: evolution from the mantle transition layer and generation by lithospheric transtension // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017a. Vol. 8. No. 3. P. 435–440. Doi.org/10.5800/GT-2017-8-3-0256.

Chuvashova I., Rasskazov S., Yasnygina T. Mid-Miocene thermal impact on the lithosphere by sublithospheric convective mantle material: Transition from high- to moderate-Mg magmatism beneath Vitim Plateau, Siberia // *Geoscience Frontiers* 2017b. Vol. 8. P. 753–774. doi: 10.1016/j.gsf.2016.05.011.

Florensov N.A. Geomorphology and recent tectonics of Transbaikalia // *Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Ser. geol.* 1948. No. 2. P. 3–16.

Florensov N.A. Mesozoic and Cenozoic depressions of the Baikal region. Moscow–Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960. 258 p.

Florensov N.A. Baikal rift zone and some problems of its study // *Baikal rift*. Moscow: Nauka Publishing House, 1968. P. 40–56.

Geology and seismicity of the BAM zone. Neotectonics / Sherman S.I., Levi K.G., Ruzhich V.V., Sankov V.A., Dneprovsky Yu.I., Rasskazov S.V. Novosibirsk: Nauka, 1984. 207 p.

Logatchev N.A. Sayan-Baikal and Stanovoe highlands // *Highlands of the Baikal region and Transbaikalia* / Ed. N.A. Florensov. Moscow: Science. 1974. P. 16–162.

Logatchev N.A. History and geodynamics of the Baikal rift // *Geology and Geophysics*. 2003. Vol. 44, No. 5. P. 391–406.

Logatchev N.A., Rasskazov S.V., Ivanov A.V., Levi K.G., Bukharov A.A., Kashik S.A., Sherman S.I. Cenozoic rifting in the continental lithosphere // *Lithosphere of Central Asia*. Ed. N.A. Logatchev. Novosibirsk: Nauka, 1996. P. 57–80.

Logatchev N.A., Zorin Y.A. Baikal rift zone: structure and geodynamics // *Tectonophysics*, 1992. Vol. 208. P. 273–286.

Lut B.F., Vlasova L.K., Fialkov V.A., Leshchikov F.N., Mirosnichenko A.P., Galkin V.I., Karabanov E.B., Mizandrontsev I.B., Belova V.A., Loginova L.P., Khursevich G.K., Kompanets V.Kh. Lithodynamics and sedimentation of Northern Baikal. Novosibirsk: Nauka, 1984. 290 p.

Mats V.D. The Baikal rift: Pliocene (Miocene) – Quaternary episode or product of extended development since the Late Cretaceous under various tectonic factors. A review // *Geodynamics & Tectonophysics*. Vol. 6, No 4. P. 467–489. doi:10.5800/GT-2015-6-4-0190.

Molnar P., Tapponier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision // *Science*. 1975. Vol. 189, No. 4201. P. 419–426.

Pavlovsky E.V. Geological history and geological structure of the Baikal mountain region. Moscow: Publishing house Acad. Sciences USSR, 1948. 175 p.

Rasskazov S.V. Comparison of volcanism and recent structures of hot spots of Yellowstone and Eastern Sayan // *Geology and Geophysics*. 1994. No. 10. P. 67–75.

Rasskazov S.V. Magmatism related to the East Siberia rift system and the geodynamics // *Bull. Centres Rech. Explor.–Prod. Elf. Aquitaine*. 1994. Vol. 18. No. 2. P. 437–452.

Rasskazov S.V. Volcanism and structure of the northeastern flank of the Baikal rift system // *Geology and Geophysics*. 1996. Vol. 37, No. 4. P. 60–70.

Rasskazov S.V., Chuvashova I.S. Volcanism and transtension in the northeastern Baikal Rift System. Novosibirsk, Academic Publishing House «GEO», 2018. 384 p. doi: 10.21782/B978-5-6041446-3-3

Rasskazov S.V., Brandt I.S., Brandt S.B., Ivanov A.V., Yasnygina T.A., Demonterova E.I., Ilyasova

A.M. Radiogenic isotope geology in problems and examples. Novosibirsk: Academic Publishing House "Geo", 2005. 268 p.

Rasskazov S.V., Kolomiets V.L., Budaev R.Ts., Chuvashova I.S., Al-hamud A., Hassan A., Alokla R. Recent reactivation of the suture zone of the Siberian craton under Southern Baikal: from Cretaceous-Paleogene orogen to the Neogene-Quaternary rift // *Geology and Environment*. 2021. Vol. 1, No. 1. P. 7–15.

Rasskazov S.V., Lyamina N.A., Chernyaeva G.P., Luzina I.V., Rudnev A.F., Rezanov I.N. Cenozoic stratigraphy of the Vitim Plateau: the phenomenon of long-term rifting in the south of Eastern Siberia. Novosibirsk: Academic Publishing House "Geo". 2007. 193 p.

Rasskazov S.V., Reshetova S.A., Yasnygina T.A., Chuvashova I.S., Saranina E.V., Rubtsova M.N., Al Hamud A., Hassan A. Upper Miocene-Pliocene deposits of Pra-Anosovka as a source of alluvium of Pra-Manzurka: Pre-Baikal transport of detrital material through the South Baikal basin // *Geology and Environment*. 2023b. Vol. 3, No. 4. P. 82–107.
<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.4.82>

Рассказов Сергей Васильевич,

доктор геолого-минералогических наук, профессор,

664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

заведующий кафедрой динамической геологии, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,

Институт земной коры СО РАН,

заведующий лабораторией изотопии и геохронологии,

тел.: (3952) 51–16–59,

email: rassk@crust.irk.ru.

Rasskazov Sergei Vasilievich,

doctor of geological and mineralogical sciences, professor,

664025, Irkutsk, Lenin st., 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

Head of Dynamic Geology Char,

664033, Irkutsk, Lermontov st., 128,

Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Head of Laboratory for Isotopic and Geochronological Studies,

tel.: (3952) 51–16–59,

email: rassk@crust.irk.ru.

Solonenko V.P. Seismotectonics and modern structural development of the Baikal rift zone. Moscow: Nauka Publishing House, 1968. P. 57–71.

Solonenko V.P., Treskov A.A., Kurushin R.A. et al. Living tectonics, volcanoes and seismicity of the Stanovoy Highlands. Moscow: Nauka, 1966. 231 p.

Sherman S.I., Levy K.G. Transform faults of the Baikal rift zone // *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1977. Vol. 233, No. 2. P. 461–464.

Sherman S.I., Levy K.G. Transform faults of the Baikal rift zone and seismicity of its flanks // *Tectonics and seismicity of continental rift zones*. Moscow: Nauka, 1978. P. 7–18.

Zonenshain L.P., Savostin L.A., Misharina L.A., Solonenko N. Plate tectonics of the Baikal mountain region and the Stanovoy Range. *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1978. Vol. 240, No. 3. P. 669–672.

Zorin Yu.A., Cordell L. Extension of the earth's crust in the Baikal rift zone according to gravimetric data // *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Ser. Physics of the Earth*. 1991. No. 5. P. 3–11.

Чувашова Ирина Сергеевна,

кандидат геолого-минералогических наук, 664025, Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет, геологический факультет,

Доцент кафедры динамической геологии,

664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,

Институт земной коры СО РАН,

старший научный сотрудник,

тел.: (3952) 51–16–59,

email: chuvashova@crust.irk.ru.

Chuvashova Irina Sergeevna,

candidate of geological and mineralogical sciences,

664025, Irkutsk, Lenin st., 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

Associate Professor of the Dynamic Geology chair,

664033, Irkutsk, Lermontov st., 128,

Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Senior Researcher,

tel.: (3952) 51–16–59,

email: chuvashova@crust.irk.ru.