

УДК 551.24 (292.516)

Арк.В. Тевелев<sup>1</sup>, В.С. Федоровский<sup>2</sup>

## КИНЕМАТИКА АККОМОДАЦИОННЫХ СТРУКТУР БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Рифтовые системы представляют собой совокупность разнородных и разнопорядковых тектонических блоков, которые в общей обстановке регионального растяжения деформируются согласованно, но индивидуально. Согласованность достигается за счет того, что на границах блоков развивается ансамбль деформационных структур, которые аккомодируют различия в структурном стиле отдельных доменов растяжения. В целом число структур, сегментирующих пространство отдельной рифтовой зоны, ограничено, и каждый набор имеет собственный тренд тектонического развития. Проанализированы сегментация и закономерности эволюции Байкальской рифтовой зоны в понятиях трансферных и аккомодационных зон, принятых в качестве стандарта описания архитектуры континентальных рифтовых областей.

*Ключевые слова:* рифтовая система, Байкал, трансферная зона, зона аккомодации, структурная эволюция.

Rift systems are composed of a set of heterogeneous tectonic blocks, which deform under regional extension concertedly, but individually. Such coordination is achieved due to development along the borders of the blocks evolving ensembles of deformation structures, which, in one way or another accommodate discrepancies in the structural style between the separate domains of tension. Generally, quantity of structural ensembles segmenting the space of the rift zone is limited, and each of them has its own trend of tectonic development. This article analyzes the segmentation and evolutionary patterns of the Baikal rift zone in terms of transfer and accommodation zones accepted recently as standard descriptions for architecture of continental rift.

*Key words:* rift system, the Baikal region, transfer zone, accommodation zone, structural evolution.

**Введение.** Большие континентальные рифты представлены в литосфере современной Земли в ограниченном количестве (около десяти), но из-за огромных размеров этих структур, а тем более областей их динамического влияния, их вклад в общую современную активность Земли исключительно велик. Изучение строения и эволюции рифтовых систем сыграло ключевую роль в становлении теоретических концепций и структурных моделей *внутриплитной тектоники*. В результате детального изучения Европейской и Восточно-Африканской рифтовых систем, площадного рифта провинции Бассейнов и Хребтов, Байкальской рифтовой системы, грабенов системы Шаньси и некоторых других были намечены общие подходы к пониманию геодинамических причин рифтинга и выработана современная терминология структур и процессов областей континентального растяжения [Rosendahl, 1987; Ebinger, 1989; Morley et al., 1990].

Байкальская рифтовая система — единственная крупная рифтовая система в пределах нашей страны, имеет почти двухсотлетнюю историю изучения и во многих отношениях представляет собой эталон современных линейных рифтов. Тем не ме-

нее огромный объем информации о Байкальской системе далеко не полностью интегрирован в мировой теоретический контекст. Этому прежде всего мешают понятийные и терминологические различия в описании рифтов, принятые в отечественной и зарубежной литературе, а также концептуальные различия в понимании причин и способов структурирования рифтовых областей. Мы попытаемся представить особенности кайнозойской структуры и развития Байкальской рифтовой зоны в рамках общепринятых моделей эволюции и терминологии описания континентальных областей растяжения, адаптированных к специфическим особенностям Байкальской системы.

**Основные черты строения областей линейного рифтинга и их терминология.** Байкальская рифтовая система представляет семейство линейных *амагматических* континентальных рифтов [Миляновский, 1976]. В целом это области растяжения континентального масштаба, которые сложным образом вписаны в разнопорядковые коровые неоднородности и состоят из множества рифтовых бассейнов, группирующихся в линейные рифтовые зоны. Основной элемент Байкальской рифтовой системы в настоящее время — собственно Байкаль-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, профессор; *e-mail:* tevelev@geol.msu.ru

<sup>2</sup> Геологический институт РАН, лаборатория тектоники раннего докембрия, гл. науч. с.; *e-mail:* west45@migmail.ru

ская рифтовая зона. Ее мировыми аналогами, фактически двойниками, считаются рифтовые зоны Танганьика и Малави в западной ветви Восточно-Африканской рифтовой системы (ВАРС). Это обстоятельство позволяет адаптировать для Байкальской зоны структурно-динамическую терминологию для областей растяжения, разработанную в результате многолетних исследований ВАРС, и затем распространенную на другие рифтовые сооружения.

К важным особенностям рифтовых зон относится их крайняя гетерогенность. В целом это совокупность разнородных и разнопорядковых тектонических блоков, которые в общей обстановке растяжения деформируются согласованно, но индивидуально. Поскольку расхождение плит, между которыми развивается рифт, более или менее жесткое, монотонное, а внутренняя структура площадей рифтинга — неоднородно-блоковая, то по границам блоков развивается ансамбль согласующих (или, в другой понятийной системе, *сегментирующих*) структур, которые аккомодируют различия в деформационном поведении отдельных доменов растяжения. Рифтовые бассейны вложены, как правило, в индивидуальные полуграбены, находятся на разных стадиях развития и относительно легко мигрируют по всей области растяжения, почти произвольно смещаясь один относительно другого. Это отражается в изменчивом составе и мощности рифтовых осадков, которые кажутся нерегулярными. Степень сегментированности рифтовых областей, вероятно, связана с мощностью холодной (упругой) литосферы [Ebinger et al., 1999]. Характерный размер блоков варьирует от нескольких километров — нескольких десятков километров в восточной, магматической ветви ВАРС, до многих десятков километров в Байкальской рифтовой области

#### **Структуры сегментации рифтовых бассейнов.**

Структуры, сегментирующие рифтовые бассейны, представлены двумя главными группами. Во-первых, это краевые сбросы полуграбенов, почти всегда представленные сериями сближенных листрических разломов, эшелонированных в случае косоугольного растяжения. Геометрия зон кулисного перекрытия сбросов соответствует сдвиговой компоненте смещения на этих разломах (в случае Байкальской рифтовой зоны чаще правостороннего). Амплитуды сбрасывания в краевом листрическом разломе нулевые на его концах и максимальные в его центральной части, к которой приурочен депоцентр образующегося полуграбена. Соответственно, здесь же имеет место максимальная амплитуда горизонтального растяжения [Morley et al., 1990; Schlische, Winjack, 2009].

Продольную сегментацию рифтовых зон обеспечивают структуры, которые выравнивают, согласуют неоднородности режима растяжения

в мозаике рифтовых бассейнов. В целом они называются аккомодационными или трансферными зонами. Эти сегментирующие структуры очень разнообразны, существует несколько терминологических подходов к их описанию. Мы используем вариант, в котором основное внимание уделяется геометрическим и кинематическим характеристикам трансферных зон, которые в общем определяют их структурную эволюцию. Этот подход был предложен Б. Розендалем для структур Восточно-Африканского рифта [Rosendahl, 1987]. В его классификации, имеющей дело с границами только разнополярных рифтовых бассейнов, выделено три вида граничных (аккомодационных) структур (рис. 1, А).

*Зоны изоляции* расположены между встречно-полярными полуграбенами, разделенными поднятиями дорифтовых структур, и имеют синформную структуру, причем независимо от их гипсометрической выраженности. *Зоны интерференции* объединяют противоположные полуграбены. Формально они выглядят в разрезе как двусторонние грабены, но имеют два депоцентра в краевых частях зоны, а также антиформное поднятие рифтовых осадков в ее центральной части. *Сдвиговые зоны* — общие границы бассейнов, образованные слившимися краевыми сбросами встречного падения. Знак движения по таким сдвигам противоположен видимому латеральному расположению сбросов. Вообще в любых зонах аккомодации, ориентированных косо к направлению растяжения, можно обнаружить как сдвиговые компоненты деформаций, так и растягивающие.

В мобильных рифтовых системах эти зоны структурно развиваются по-разному [Тевелев, 2003]. Их пространственную эволюцию контролируют параметры латеральной миграции рифтовых бассейнов, которая возникает в связи с асимметричностью растяжения полуграбенов, вмещающих бассейны. Аналогично океаническим спрединговым структурам общее растяжение рифтового бассейна сопровождается смещением его оси в сторону вектора меньших значений скорости горизонтального растяжения, который обычно направлен к краевому сбросу. Концептуальная схема эволюции кулисных систем грабенов в зависимости от способов их сочленения показана на рис. 1, Б.

В зонах интерференции общее рифтовое растяжение приводит к расхождению краевых сбросов. При активном расширении зон интерференции в их центральных участках образуются антиформные структуры типа слившихся ролловеров. В зависимости от величины кулисного перекрытия полуграбенов антиформы могут быть продольными или косыми к простиранию бассейнов и служить ловушками для углеводородов.

Сдвиговые зоны при растяжении полуграбенов удлиняются и постепенно меняют простирание. В случае если их ориентировка приближается к ге-

неральному направлению растяжения рифтовой области, они трансформируются в *пулл-апартовые* бассейны [Тевелев, 2003].

В зонах изоляции краевые сбросы движутся навстречу и рано или поздно разрушают поднятие между полуграбенами, меняются местами относительно оси зоны аккомодации, начинают падать навстречу друг другу и расходятся, формируя зону интерференции, которая разрастается под некоторым углом к направлению регионального растяжения.

В случае кулисного сочленения моновергентных полуграбенов их разрастание сопровождается формированием релейного (смыкающего) рампа. Смещение краевых сбросов происходит в одном направлении, что в конце концов приводит к объединению разрастающихся грабенов в единый бассейн со сложным распределением фаций рифтовых отложений и их мощностей.

**Классификация рифтовых трансферных зон.** Для различения реальных трансферных (аккомодационных) зон и разломов в Байкальской рифтовой системе мы используем синтетический вариант терминологии, опирающийся в первую очередь на классификации К. Морли с соавторами [Morley et al., 1990], а также на работы [Faulds, Varga, 1998; Scott, Rosendahl, 1989] и собственные данные [Тевелев, 2003, 2005; Tevelev, 2007]. В этой классификации (рис. 2) структуры, сегментирующие рифтовые зоны, рассматриваются как деформации, которые соединяют одиночные или пакетные сбросы, ограничивающие полуграбены. Все граничные области между сбросовыми пакетами будут называться *трансферными зонами*. Блоки с одинаковым залеганием сбросов и, соответственно, с одинаковой полярностью полуграбенов будут называться *моновергентными*, а с противоположным залеганием — либо *конвергентными* (со встречным падением сбросов), либо *дивергентными* (с обратным направлением падения сбросов). По величине планового перекрытия сбросовых пакетов выделяются *концевые* соединения (с нулевым или отрицательным перекрытием), *кулисные* перекрытия и *полные* перекрытия.

**ЗОНЫ АККОМОДАЦИИ**

| Между сбросами противоположного падения |                |               | единого падения |
|---|----------------|---------------|-----------------|
| зоны интерференции                      | сдвиговые зоны | зоны изоляции | релейные рампы  |
| <b>А</b><br>                            |                |               |                 |
| <b>Б</b>                                |                |               |                 |
| <b>1</b><br>                            |                |               |                 |
| <b>2</b><br>                            |                |               |                 |
| <b>3</b><br>                            |                |               |                 |
| <b>4</b><br>                            |                |               |                 |

Рис. 1. Зоны аккомодации областей растяжения и их структурная эволюция: А — главные типы зон аккомодации, по [Scott, Rosendahl, 1989], с изменениями и дополнениями; Б — структурная эволюция зон аккомодации (1–4 — этапы развития)

Соответственно геометрии и особенностям развития бивергентных наборов им отвечают зоны изоляции, зоны интерференции и сдвиговые зоны. В случае частичного перекрытия моновергентных полуграбенов в зоне перекрытия образуется релейный (смыкающий) рампа — моноклираль, соединяющая висячее крыло одного сброса с лежащим крылом другого. При малом или нулевом перекрытии моновергентных сбросов их граничной структурой является *трансферный* сдвиг.

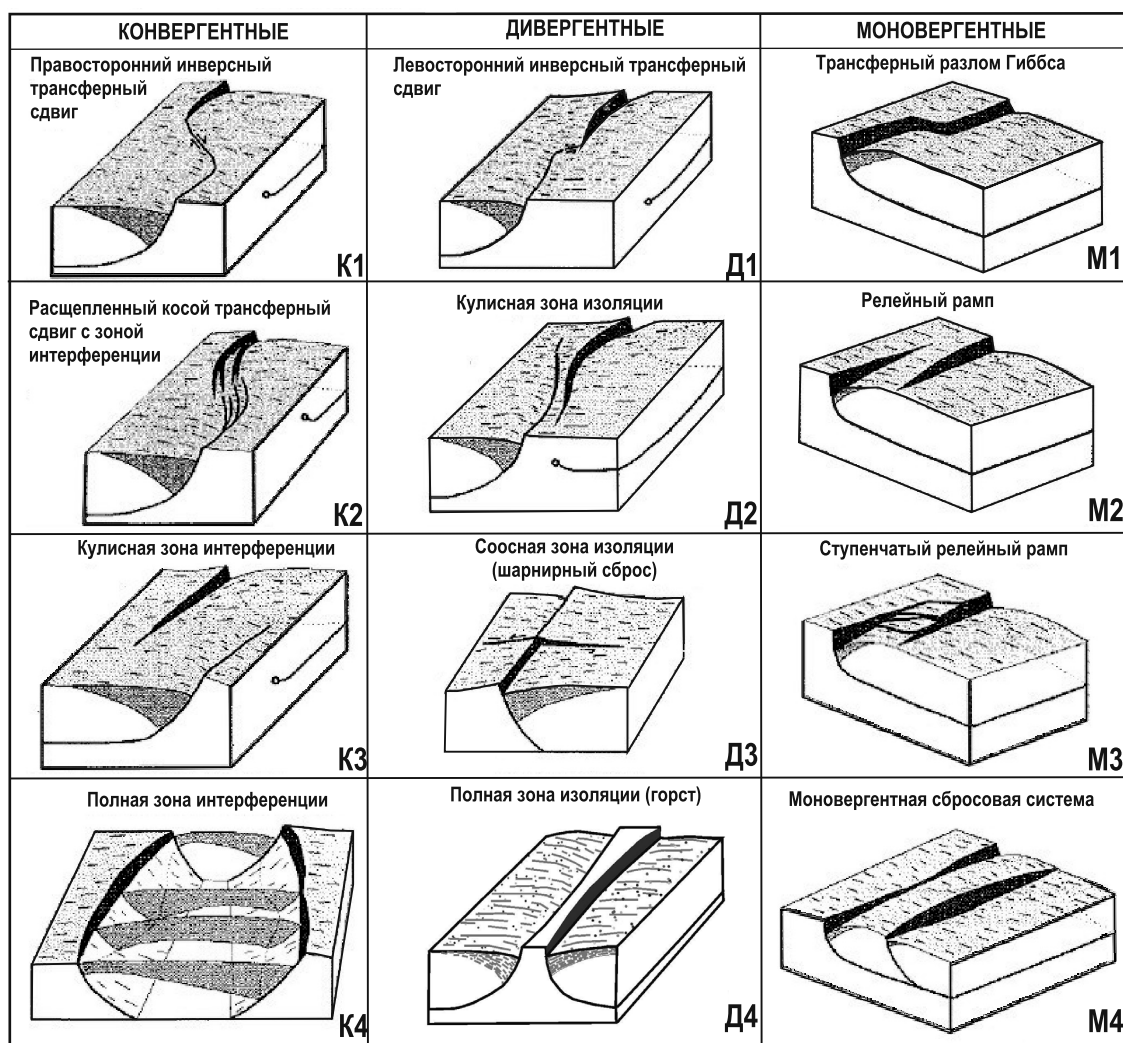


Рис. 2. Структурные модели и предлагаемая терминология трансферных зон областей растяжения. Морфология трансферных зон по [Faulds, Varga, 1998] с изменениями. Пояснения см. в тексте

**Морфология Байкальской рифтовой зоны (БРЗ).** В строении Байкальской рифтовой зоны трансферные структуры выделяются очень четко, главные из них показаны на моделях отдельных сегментов Байкальской рифтовой зоны (рис. 3). При построении моделей использованы сведения о морфометрии поверхностного и подводного рельефа БРЗ, которые включали данные топокарт масштаба от 1:1 000 000 до 1:100 000 для отдельных регионов, мировые цифровые модели высоты рельефа (DEM) и покрытия, а также батиметрические карты и гриды, полученные при площадном эхолотировании территории оз. Байкал [De Batist et al., 2002]. Для анализа структурной ситуации использованы многочисленные опубликованные данные [Леви и др., 1995, 1997; Саньков и др., 1999; Delvaux et al., 1999] и многие другие, а также некоторые результаты авторских наблюдений. Исключительно важной оказалась информация, полученная в результате анализа сейсмических профилей района подводного Академического хребта и соседних районов БРЗ [Казьмин и др., 1995; Scholz, Hutchinson, 2000].

Морфологическая зональность Байкальской рифтовой зоны отличается на разных морфоструктурных уровнях. По современному уровню водного зеркала (455 м) это единый озерный бассейн, по поверхности дна в его пределах выделяется три крупных и большое число малых бассейнов, разделенных перемычками разного рода, а по древнему фундаменту рифтовой зоны — два крупных бассейна с максимальной глубиной 7 км и более. В дальнейшем описании мы будем использовать современную зональность по поверхности осадочного выполнения БРЗ, в которой выделены три крупных бассейна (Южный, Центральный и Северный), разделенные Бугульдейской и Ольхонской перемычками.

**Основные трансферные зоны БРЗ.** Южный бассейн оз. Байкал (рис. 3, Д) ограничен с юго-запада левосторонней сдвиговой зоной Култук, по которой он сопряжен с Тункинским бассейном и морфологически разделен на два сегмента, которые граничат по Ангарской трансферной зоне с небольшим, также левосторонним смещением. Западный сегмент Южного бассейна (Култук-

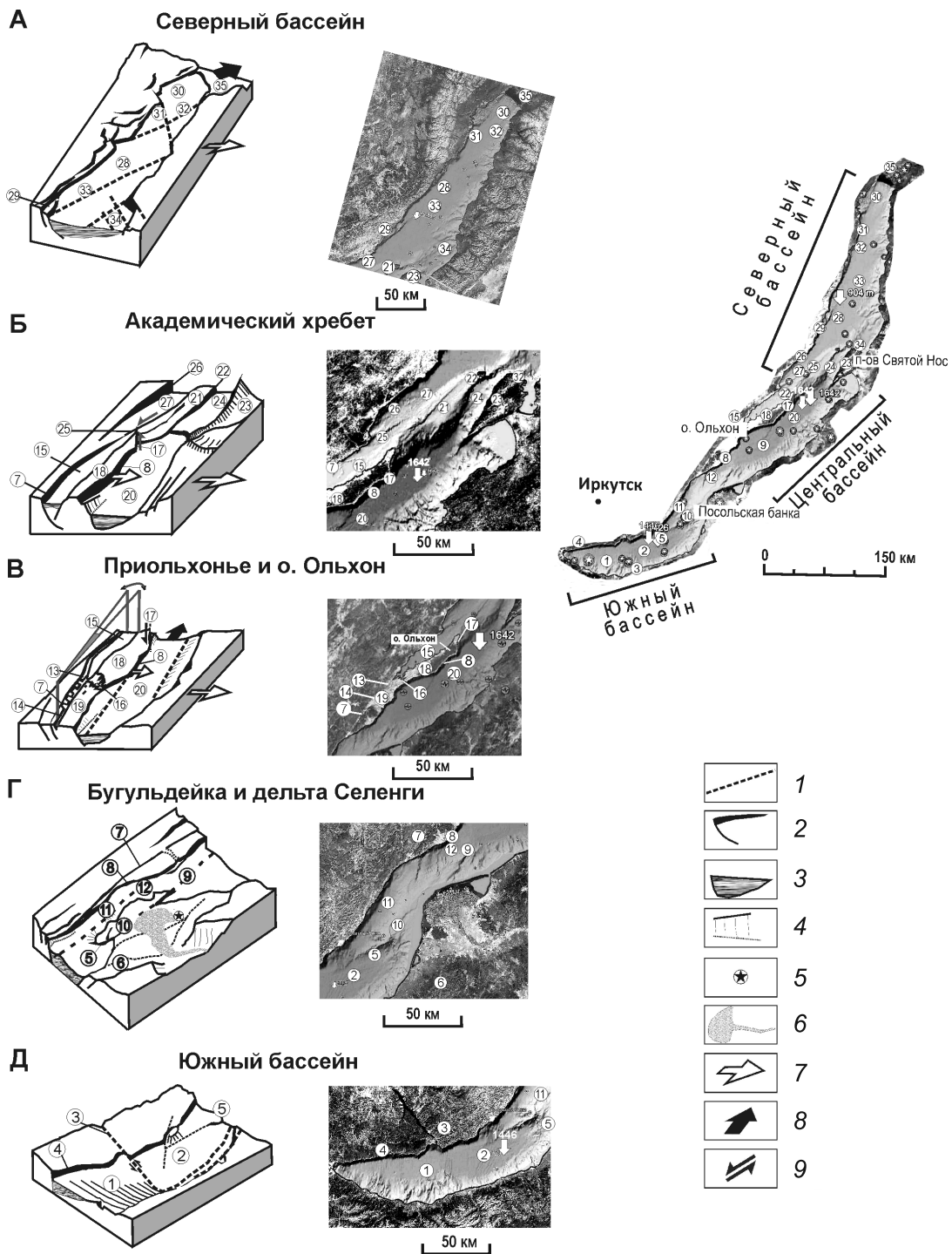


Рис. 3. Трансферные зоны и структурные модели основных сегментов БРЗ: А–Д — структурные модели (слева) и рельеф дна (справа) отдельных блоков БРЗ: 1 — трансферные зоны (в том числе трансферные разломы); 2 — уступы сбросов и сбросо-сдвигов; 3 — синрифтовые осадки; 4 — пологие склоны односторонних грабенов; 5 — эпицентры землетрясений 2000–2010 гг. (база данных USGS); 6 — дельта р. Селенга; 7 — направление активного растяжения бассейнов; 8 — направление пропагации трансфера; 9 — знак движения на сдвиговых трансферах

Структурные элементы БРЗ (цифры в кружках; номера соответствуют элементам на всех схемах): 1 — Култукский полуграбен — западная часть Южного бассейна; 2 — Мишихинская зона интерференции — восточная часть Южного бассейна; 3 — Ангарский сдвиговый трансфер; 4 — уступ Обручевского сброса; 5 — Посольский сброс; 6 — система сбросов восточного ограничения Бугульдейской зоны интерференции; 7 — уступ Приморского сдвиго-сброса; 8 — уступ Морского сброса; 9 — осевой трансфер Центрального бассейна; 10 — Кукуевско-Посольская антиформа; 11 — Голоустинский бассейн; 12 — Бугульдейский бассейн; 13 — Кучелгинский грабен; 14 — релейный рамп Тонта; 15 — грабен Малого моря; 16 — зона раскрытия Ольхонских ворот; 17 — трансферный сдвиг Хобой; 18 — полугорст о-ва Ольхон; 20 — Центральный бассейн; 21 — зона изоляции Академического хребта; 22 — трансферный сдвиг Ушканий; 23 — полугорст п-ова Святой Нос; 24 — зона интерференции Ушканьего бассейна; 25 — Центральная сдвиговая трансферная зона; 26 — уступ Байкальского сброса; 27 — Замский бассейн; 28 — полуграбен Северного бассейна; 29 — релейный рамп м. Заворотный; 30 — Рельский бассейн; 31 — трансфер Слодянский; 32 — трансфер Турали; 33 — трансфер Амнундакан; 34 — Сосновская моновергентная сбросовая система; 35 — Кичерский бассейн.

Использована переработанная цифровая модель батиметрии Байкала [De Batist et al., 2002]

ский, по [Леви и др., 1997]) это нормальный полуграбен северной полярности, ограниченный амплитудным Обручевским сбросом. Восточный Мишихинский сегмент Южного бассейна имеет более сложное строение. Он ограничен крутыми краевыми сбросами с обоих бортов, причем в южном борту развита целая система косых кулисных разрывов, выделяющих узкие релейные рампы, а ложе впадины наклонено в западном направлении. В центральной части бассейна расположена область самых глубоких отметок Южного бассейна (1446 м), и в целом этот сегмент оформлен, скорее, как интерференционная зона с небольшим поднятием рифтовых осадочных отложений в его северной части. Восточное замыкание бассейна круто врезано в Селенгинскую дельту и поднятие Посольской банки. Ангарская трансферная зона выражена в рельефе дна системой кулисных субмеридиональных структур.

*Бугульдейская зона интерференции* (рис. 3, Г) расположена между восточной сбросовой границей Южного бассейна, которая продолжается в северо-восточном направлении через суходольную равнину Селенгинской дельты, и кулисно перекрывающими ее Приморским и Морским сбросами в северо-западном борту Байкала. Обширная Бугульдейская зона почти полностью заполнена встречными веерами дельтовых отложений Селенги и Бугульдейки. Зона интерференции имеет сложную, в целом ромбовидную конфигурацию. Ее исходная морфология остается не вполне ясной. В ее северо-западном борту расположены две слегка косо ориентированных одна по отношению к другой впадины (Голоустинская и Бугульдейская), морфологически не связанные ни с Северным, ни с Центральным бассейном. Осевая область зоны интерференции четко выражена продольным поднятием рифтовых осадочных образований и представлена на юге Посольской банкой, а на севере — Кукуйской гривой. В то же время впадина в районе предполагаемого депоцентра в горле Селенгинской дельты полностью заполнена аллювиально-дельтовыми осадками максимальной на Байкале мощности [Scholz, Hutchinson, 2000]. Именно к этой области приурочены многочисленные современные сейсмические очаги.

*Приольхонье.* Следующий к северо-востоку Центральный сегмент рифтовой зоны, расположенный между Бугульдейской перемычкой и Северным бассейном, имеет самое сложное строение. Северо-западным ограничением сегмента служит Приморский разлом, наследующий раннепалеозойский коллизийный шов (рис. 3, В). Прямолинейная форма его сбросового эскарпа свидетельствует, скорее всего, о наличии сдвиговой компоненты в движениях по разлому, а левокулисное расположение основных рифтовых бассейнов и сегментов западного краевого сброса — о его правосторонней кинематике. К эскарпу прижат узкий, очень полого

погружающийся в северо-восточном направлении релейный рамп Тонта, который является краевой структурой более крупного Приольхонского рампа. Рамп Тонта разбит системой поперечных сбросов, придающих ему клавишный облик. С юго-востока рамп ограничен Кучелгинским грабеном, который постепенно расширяется на северо-восток и уходит под воды Байкала, образуя пролив Малого моря. Раскрытие Маломорского бассейна приводит к отодвиганию Ольхонского блока от Приморского сброса, образованию косого раздвига в области Ольхонских ворот и левого сдвига Хобей на восточном замыкании Ольхона.

Со стороны Байкала Ольхон и Приольхонье ограничены грандиозными сбросовыми структурами северного борта Центрального бассейна (Морской сброс), его депоцентр прижат к этой границе, и именно здесь расположена одна из наиболее глубоких точек дна озера Байкал (1637 м). Точка резкого излома южного берега Ольхона в районе м. Ухан соответствует тройному сочленению сбросов, юго-западный из которых прослеживается по дну озера до Бугульдейской зоны и, как отмечено выше, заметно выражен в структуре сейсмического поля. Продольный профиль Центрального бассейна резко асимметричен. От Бугульдейской зоны в восточно-северо-восточном направлении дно бассейна погружается относительно полого, а на восточном замыкании, в районе Святого Носа, оно вложено в многоярусные сбросовые уступы высотой 1,0–1,5 км.

*Академический хребет.* В целом область Ольхонских горстов продолжается в северо-восточном направлении через весь Байкал подводным Академическим хребтом и кулисно подставляющим его поднятием Святого Носа (рис. 3, Б). Эта крупнейшая в Байкальской рифтовой зоне поперечная перемычка имеет сложное строение. В плане она состоит из нескольких кулисных поднятий, но в целом от восточной части о-ва Ольхон до Ушканьих островов представляет собой *зону изоляции*, ограниченную кулисно перекрывающимися сбросовыми системами, падающими в потивоположные стороны, к депоцентрам прилежащих бассейнов. Зоны изоляции структурно неустойчивы и подвергаются разрушению или тектонической эрозии из-за того, что их краевые сбросы постоянно сдвигаются от депоцентров полуграбенов навстречу друг другу. Результаты этого процесса особенно заметны именно в центральной части Академического хребта, сниженной значительно ниже уровня воды в Байкале.

Сооружение Святого Носа представлено крупным полугорстом, поверхность которого наклонена к континенту, а его уступ северо-западного падения вместе со встречными сбросами Академического хребта ограничивает небольшой бассейн Ушканьих островов, представляющий собой трансферную зону интерференции.

Сбросы северного уступа горста Святого Носа четко прослеживаются в юго-западном направлении, в структуры Центрального бассейна. Они отграничивают от его довольно плоского ложа, выработанного на многокилометровой толще осадков, сложнейший многоярусный склон с хорошо выраженными подводными каньонами, обеспечивающими турбидитную седиментацию на дне бассейна.

Разломы северного ограничения Академического хребта вблизи западного борта Байкала переходят со сменой вергентности в структуры Приморского хребта. Левая кулидность перекрывающихся сбросов указывает на правостороннюю компоненту смещения вдоль этой *Центральной сдвиговой трансферной зоны*, представляющей один из важнейших структурных элементов современного Байкала.

*Северный бассейн* по структуре напоминает Центральный, но имеет менее контрастное строение в целом, он на 700 м мелководнее и значительно менее сейсмичный (рис. 3, А). Его юго-западное замыкание в районе м. Арал вложено в зону кулисного перекрытия Приморского и Байкальского разломов единого юго-восточного падения. Ложе этого бассейна, который называется Замским, полого наклонено на северо-восток, так что бассейн в этой части представляет собой *релейный рамп*. Вблизи районов максимальных глубинных отметок в Северном бассейне (м. Заворотный) основной сброс Байкальской разломной зоны кулисно подставлен серией краевых сбросов разного размера и, таким образом, продолжается до устья р. Рель. В зоне перекрытия сформирован крупный *релейный рамп мыса Заворотного*, на поверхности которого зафиксированы точки с самым интенсивным тепловым потоком в Байкальской рифтовой зоне [Маттон, Клеркс, 1995; Delvaux, Fronhoffs et al., 1999]. Севернее м. Заворотного до устья р. Рель Северный бассейн выглядит нормальным полуграбеном с тесно прижатым к краевому сбросу депоцентром. Постоянная левая кулидность фрагментов Байкальской сбросовой зоны отчетливо фиксирует правостороннюю компоненту смещения вдоль нее.

Севернее устья р. Рель строение бассейна резко меняется за счет появления более длинного и пологого западного склона и смещения депоцентра в осевую часть впадины. Внешние сухопутные границы бассейна отчетливо меняют ориентировку, разворачиваясь по часовой стрелке до простирания  $45^\circ$  и более, и отвечают ориентировке границ северных рифтовых впадин Байкальской рифтовой зоны — Кичерской и Верхнеангарской. В наклонном дне Рельского сегмента появляются два узких депоцентра, что позволяет рассматривать его как *зону интерференции* пулл-апартовой природы.

Юго-восточная часть Северного бассейна, от устья Чевыркуя до устья Давши, сложна для

кинематической интерпретации. От основной части Северного бассейна она отделена поднятием, кулисно продолжающим Академический хребет и прорезанным двумя понижениями. К востоку от поднятия расположена область клавишного строения с впадинами глубиной до 700 м и более ниже уровня Байкала и поднятиями с плоской вершинной поверхностью высотой около 500 м над дном озера. Границы блоков имеют геометризованные очертания северо-восточной и северо-северо-западной ориентировки. Такие же соотношения наблюдаются и в береговых структурах в этой части восточного борта Байкала, имеющих резкое клавишное строение. Наземные дельты Сосновки, Давши, Большой и других рек образуют днища локальных полуграбенов треугольных очертаний с северо-восточным простиранием краевых сбросов и северо-западным простиранием блоковых ограничений разделяющих их поднятий.

По данным [Леви и др., 1997], Северный бассейн рассечен разломными зонами преимущественно северо-восточного простирания, которые наследуют структурный план сооружений Байкало-Патомского нагорья. Их подводная структура не очень ясна, но в морфологии береговых структур они образуют четкие плановые ступени, разграниченные эшелонированными разрывами, поэтому их общую кинематику определяют как сдвиго-сбросовую. Не менее четко, однако, выражены блоковые границы северо-западного простирания, более редкие, но морфологически более явные, проявленные, к тому же, в сейсмическом поле.

*Кичерский* рифтовый бассейн начинается ряд суходольных впадин, которые через разрывные зоны того же северо-восточного простирания прослеживаются в восточном направлении примерно на 600 км и включают Верхнеангарскую, Муйскую, Чарскую, Токкинскую и несколько малых впадин, которые сочленяются преимущественно сдвиговыми зонами и развиваются, скорее, как пулл-апараты.

**Структурное развитие БРЗ.** Анализ структурно-морфологических данных и знания о тектонической эволюции трансферных зон разного типа позволяют смоделировать структурное развитие Байкальской рифтовой зоны. Для определенности в выявлении эволюционных трендов отдельных элементов Байкальской рифтовой зоны и всей рифтовой системы в целом необходимо задать общую конфигурацию деформационного поля региона. Для решения этой задачи мы использовали, помимо многочисленных литературных данных, наши полевые исследования в Приольхонье — ключевом участке центрального сегмента БРЗ. Целью этих работ было определение кинематики новейших синрифтовых структур и пространственных параметров растяжения Приольхонья и Байкальской рифтовой зоны в целом. Структурно-морфологическое профилирование



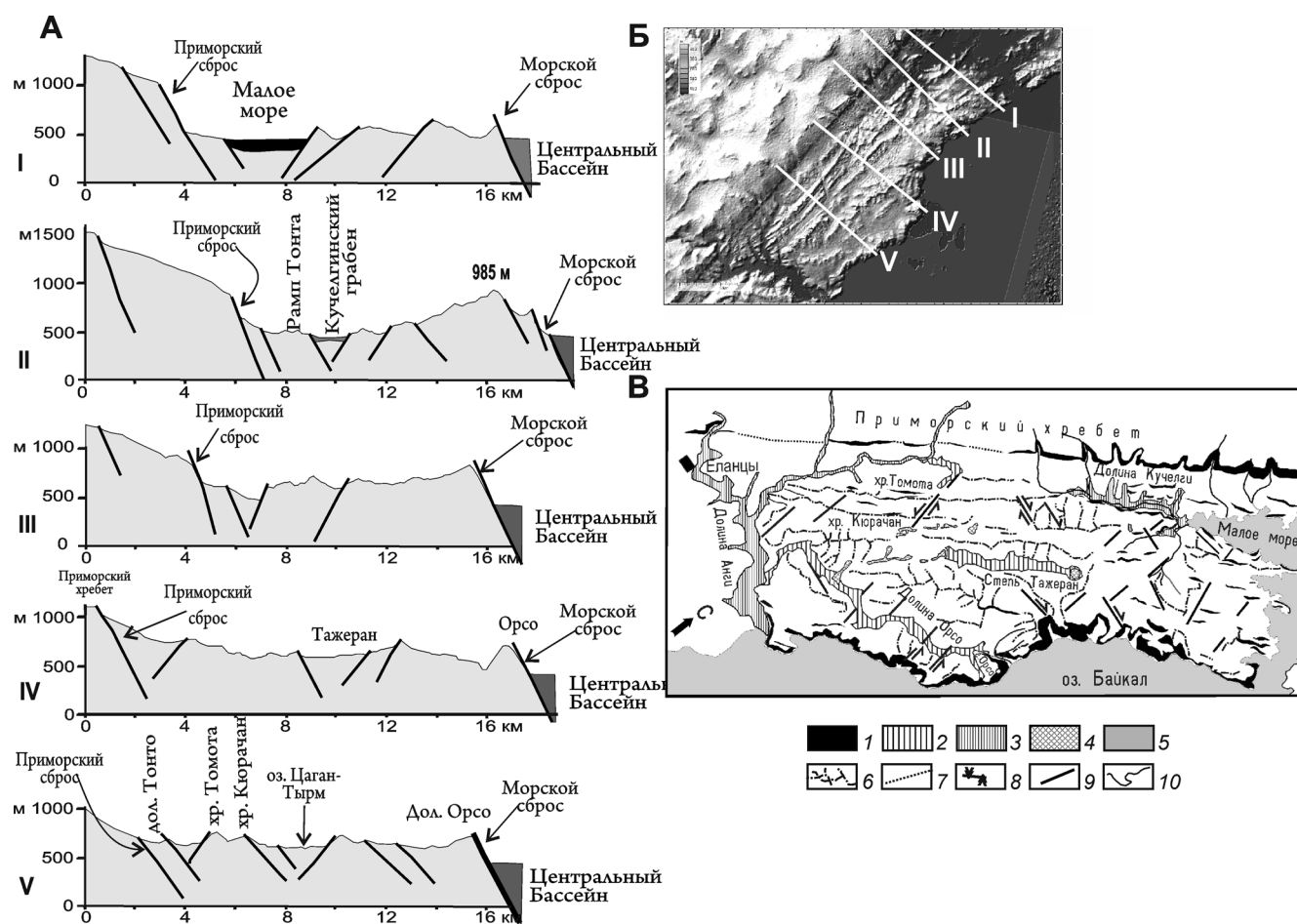


Рис. 4. Структурно-геоморфологические карта и профили Приольхонья: А — структурно-геоморфологические профили Приольхонья (черные линии — основные сбросы района); Б — расположение профилей на DEM региона; В — схема новейшей тектоники Приольхонья.

1 — главные эрозионно-тектонические уступы (эскарпы крупных сбросов); 2 — древние (среднеплейстоценовые?) долины; 3 — тектонически обусловленные молодые (позднеплейстоценовые—голоценовые) долины; 4 — малые озера, обычно соленые, наследующие структурные впадины; 5 — водная поверхность оз. Байкал; 6 — линии водораздельных хребтов и гряд; 7 — тыловой шов Приморского эскарпа; 8 — расщепленные поверхности краевых сбросов; 9 — неотектонические разрывы; 10 — малые водотоки

Приольхонья и анализ синрифтовых смещений молодых отложений и форм рельефа показали, что в современной структуре региона присутствуют новейшие тектонические элементы, которые соответствуют как поперечному, северо-западному — юго-восточному растяжению Приольхонского региона, так и элементы, соответствующие его продольному растяжению (рис. 4). Структуры, отвечающие северо-западному — юго-восточному растяжению Байкальской рифтовой зоны, выражены прежде всего продольными сбросами и сбросо-сдвигами, четко контролирующими продольную зональность и ступенчатость региона. Их главные представители — Приморский сброс, рампа Тонта, Кучелгинский (Чернорудский) грабен, переходящий по простиранию в грабен Малого моря, Главная сдвиговая зона Приольхонья, Ольхонский полуостров, краевые сбросы Средне-Байкальского бассейна.

Анализ горизонтальных смещений маркерных толщ изученной территории раскрывает ее продольное растяжение и относительно поперечное

сжатие. Все крупные субмеридиональные разрывные зоны демонстрируют явные (до многих десятков метров) левосторонние смещения, а субширотные зоны — правосторонние смещения. Наиболее значительный по видимой амплитуде сдвиг Томота (120–160 м) в центральной части региона прослеживается от оз. Холба-Нур практически до главного эскарпа зоны Приморского сброса. Это именно молодые нарушения, а не препарированные древние швы, на что указывает прекрасная выраженность в рельефе и, главное, регулярные смещения песчаных толщ — реликтов плейстоценовых долин, прослеженных нами в палеодолине Орсо. Другим свидетельством такого режима представляется ступенчатое и клавишное строение релейного рампа Тонта, в котором отдельные блоки имеют выраженное грабен-горстовое строение, характеризующее продольное растяжение рампа. Очень интенсивно поперечная сбросовая тектоника развита в этой же структуре на берегу Малого моря. В то же время ротационная составляющая в раскрытии системы Кучелгин-



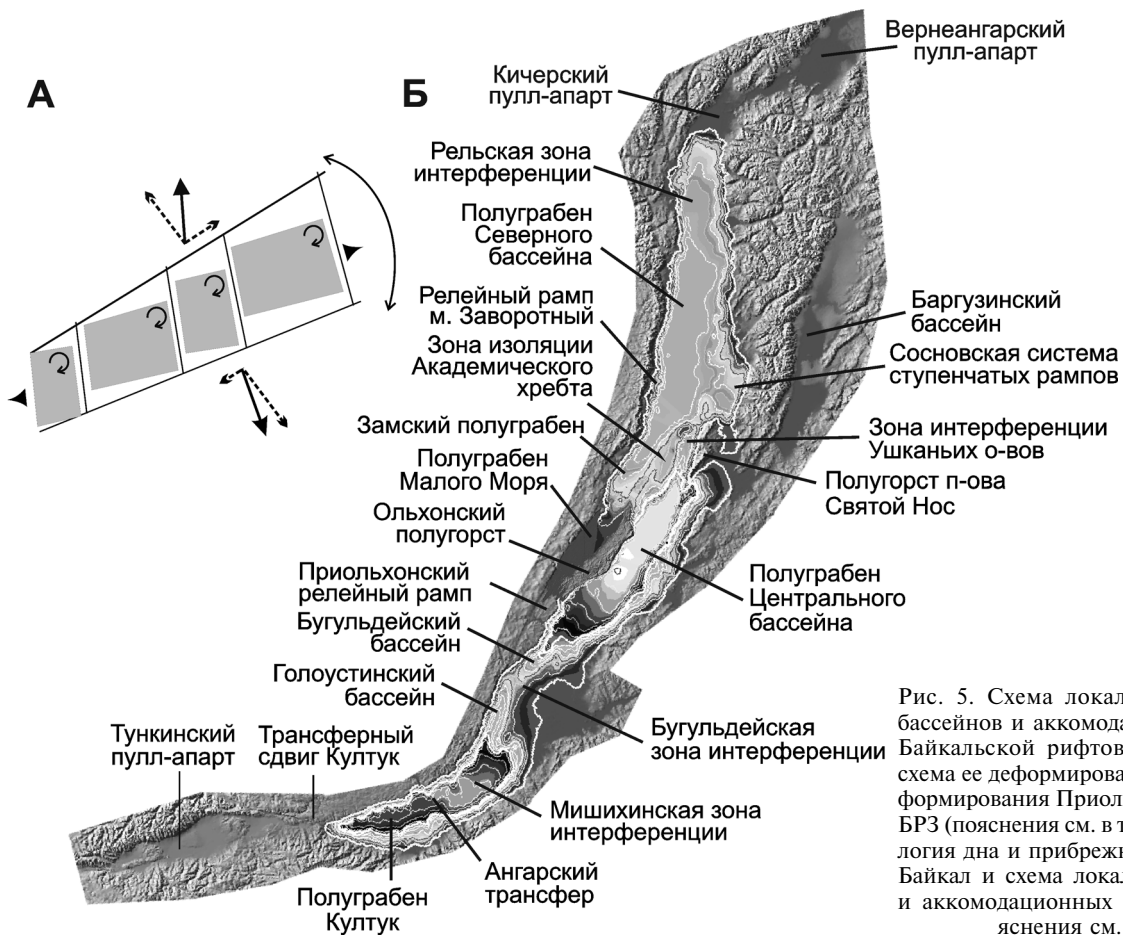


Рис. 5. Схема локализации основных бассейнов и аккомодационных структур Байкальской рифтовой зоны и общая схема ее деформирования: А — схема деформирования Приольхонского сегмента БРЗ (пояснения см. в тексте); Б — морфология дна и прибрежных территорий оз. Байкал и схема локализации бассейнов и аккомодационных структур БРЗ (пояснения см. в тексте)

ского грабена—грабена Малого моря реализуется в системе правых сдвигов вдоль южной границы этой структуры.

Мы предполагаем, что наличие этих смещений на молодых синрифтовых разломах региона связано с хрупким разворотом блоков (в стиле домино) при сложной деформации, включающей несоосное растяжение (угловое раскрытие) в северо-восточном направлении, поперечное растяжение региона, а также сдвиговую составляющую на границах отдельных разворачивающихся доменов (рис. 5, А).

Полученные данные можно интерпретировать следующим образом: в регионе имеет место площадное растяжение, главная ось которого при одних локальных условиях оказывается юго-восточной, а в других — северо-восточной. Анализ пространственного распределения очагов современных землетрясений и их очаговых механизмов в Байкальской рифтовой системе свидетельствует в пользу варианта максимального северо-восточного удлинения региона, связанного с интенсивным разрастанием (пропагацией) рифтовых доменов, ограниченных разломными зонами северо-восточного простирания, как правило, сейсмически активными. Эти разломы почти всегда имеют сдвиговую компоненту движения, а самые крупные их них, типа Центральной трансферной зоны или границ Кичерского и

Верхнеангарского бассейнов, относятся к трансферными сбросо-сдвигам.

**Обсуждение результатов.** Полученные данные, по нашему мнению, относятся не только к Ольхонскому террейну, но и ко всей рифтовой области. В разное время движения по одним и тем же зонам могли быть различными. В результате анализа современной сейсмичности Байкальской рифтовой системы можно считать, что происходит максимальное северо-восточное удлинение региона, связанное с интенсивным разрастанием (пропагацией) рифтовых доменов, ограниченных разломными зонами северо-восточного простирания, как правило, сейсмически активными. Эти разломы почти непременно имеют сдвиговую компоненту движения, а самые крупные их них, например Центральная трансферная зона или граница Кичерского и Верхнеангарского бассейнов, являются трансферными сдвигами.

В работе [Балла и др., 1990] предполагалось, что образование Байкальской рифтовой системы может быть связано с расталкиванием литосферных блоков при очень далекой от района исследований коллизии Индийской и Евразийской плит в стиле ранних работ П. Молнара и П. Тапонье. Мы поддерживаем идею эскейпа, но считаем, что возможным ресурсом для рифтинга могло быть западное выталкивание Сибирской плиты из своеобразного синтаксиса, ограниченного на юге

граничными левыми сдвигами Амурской плиты и правыми сдвигами ограничения Охотоморской плиты, прежде всего активными Сахалинскими структурами, а на севере — граничными структурами Североамериканской плиты. Плитная конфигурация этой области обстоятельно показана в работе [Имаев и др., 2015]. В этой обстановке Охотоморская плита выталкивается на восток, а Сибирская — приблизительно на запад, раскрывая на Байкало-Патомском изломе плиты (северо-восточного простираения) систему впадин Байкальской области. Фундаментальные отличия

морфологии и структуры Северного бассейна от Южного и Центрального, возможно, связаны с тем, что они начали нуклеацию в отличающихся по динамике областях растяжения. Южная область связана с раскрытием относительно далекого, близтаймырского полюса, как это предполагалось в построениях [Шерман, Леви, 1977], а северная область раскрывалась относительно восточного полюса [Зоненшайн и др., 1978]. В одном водном бассейне они объединились, по-видимому, сравнительно недавно, возможно, в четвертичное время.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Балла З., Кузьмин М.И., Леви К.Г. Кинематика раскрытия Байкала // Геотектоника. 1990. № 2. С. 80–92.

Имаев В.С., Имаева Л.П., Смекалин О.П. и др. Карта сейсмоструктоники Восточной Сибири // Геодинамика и тектонофизика. 2015. Вып. 6, № 3. С. 275–287.

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

Казьмин В.Г., Гольмиток А.Я., Клитгорд К. и др. Строение и развитие района Академического хребта по данным сейсмических и подводных исследований // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 10. С. 164–176.

Леви К.Г., Бабушкин С.М., Бадардинов А.А. и др. Активная тектоника Байкала // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 10. С. 154–163.

Леви К.Г., Аржанникова А.В., Буддо В.Ю. и др. Современная геодинамика Байкальского рифта // Разведка и охрана недр. 1997. № 1. С. 10–20.

Маттон К., Клеркс Ж. Структура бассейна в западной части Северного Байкала: район мыса Заворотный // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 10. С. 177–182.

Милановский Е.Е. Рифтовые зоны континентов. М.: Недра, 1976. 279 с.

Саньков В.А., Леви К.Г., Кале Э. и др. Современные и голоценовые горизонтальные движения на Байкальском геодинамическом полигоне // Геология и геофизика. 1999. Т. 40, № 3. С. 422–430.

Тевелев А.В. Кинематика трансферов / Структурные парагенезы и их ансамбли. М.: ГЕОС, 1997. С. 172–174.

Тевелев А.В. Структура и кинематика зон трансферных сдвигов // Вест. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2003. № 2. С. 3–18.

Тевелев А.В. Сдвиговая тектоника. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 254 с.

Шерман С.И., Леви К.Г. Трансформные разломы Байкальской рифтовой системы // Докл. АН СССР. 1977. Т. 233, № 2. С. 461–463.

Delvaux D., Fronhoffs A., Hus R. Poort J. Normal fault splays, relay ramps and transfer zones in the central part

of the Baikal rift basin: insight from digital topography and bathymetry // Bull. Centre Rech. Elf Explor Prod. 1999. Vol. 22, N 2. P. 341–358.

De Batis M., Canals M., Sherstyankin P., Alekseev S. The INTAS Project 99–1669 Team. 2002. A new bathymetric map of Lake Baikal. Scientific Drilling Database. Doi:10.1594/GFZ.SDDDB.1100.

Faulds J.E., Varga R.J. The role of accommodation zones and transfer zones in the regional segmentation of extended terranes // Geol. Soc. Amer. 1998. Spec. Pap. 323. P. 1–45.

Ebinger C.J. Tectonic development of the Western Branch of the Eastern African rift system // Geol. Soc. Amer. Bull. 1989. Vol. 101. P. 885–890.

Ebinger C.J., Jackson J.A., Foster A.N., Heyward N.J. Extensional basin geometry and the elastic lithosphere // Philos. Trans. R. Soc. Lond. 1999. A 357. P. 741–765.

Morley C.K., Nelson R.A., Patton T.L., Munn S.G. Transfer zones in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts // AAPG Bull. 1990. Vol. 74. P. 1234–1253.

Rosendahl B.R. Architecture of continental rifts with special reference to East Africa // Ann. Rev. Earth and Planet Sci. Lett. 1987. Vol. 15. P. 29–43.

Schlische R.W., Withjack M.O. Origin of fault domains and fault-domain boundaries (transfer zones and accommodation zones) in extensional provinces: Result of random nucleation and self-organized fault growth // J. Struct. Geol. 2009. Spec. Iss. 31. P. 910–925.

Scholz C.F., Hutchinson D.R. Stratigraphic and structural evolution of the Selenga Delta Accommodation Zone, Lake Baikal Rift, Siberia // Int. J. Earth Sci. 2000. Vol. 89. P. 212–228.

Scott D.L., Rosendahl B.R. An East African perspective // Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull. 1989. Vol. 97. P. 155–165.

Tevelev A.V. Kinematic behavior of the tectonic strike-slip zones and their evolutionary trends // Moscow University Physics Bull. 2007. Vol. 62, N 6. P. 363–375.

Поступила в редакцию  
01.04.2016