

## Региональная геология

УДК 551(571.53)

**Новейшая активизация шовной зоны Сибирского кратона под Южным Байкалом: от мел-палеогенового орогена к неоген-четвертичному рифту**С. В. Рассказов<sup>1,2</sup>, В. Л. Коломиец<sup>3,4</sup>, Р. Ц. Будаев<sup>4</sup>, И. С. Чувашова<sup>1,2</sup>,  
А. Аль-хамуд<sup>1,5</sup>, А. Хассан<sup>1,6</sup>, Р. Алокла<sup>1,7</sup><sup>1</sup> *Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия*<sup>2</sup> *Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия*<sup>3</sup> *Бурятский государственный университет, Улан-Удэ, Россия*<sup>4</sup> *Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия*<sup>5</sup> *Университет Аль-Фурат, Дейр-Эз-Зор, Сирия*<sup>6</sup> *Университет Аль-Басс, Хомс, Сирия*<sup>7</sup> *Университет Алеппо, Алеппо, Сирия*

**Аннотация.** На основе пространственно-временного анализа осадочных отложений юга Восточной Сибири, характеризуются два этапа эволюции новейшей структуры: мел-палеогеновый и неоген-четвертичный. Первый этап обозначен формированием Южно-Байкальского орогена с фланговым развитием Предбайкальского и Селенгино-Витимского предгорных прогибов, второй — нисходящими движениями в Южно-Байкальской впадине, ее заполнением осадочными отложениями и водой одновременно с развитием всей Байкальской рифтовой системы.

**Ключевые слова.** *Кайнозой, Байкал, осадочные отложения*

**Recent reactivation of the Siberian craton suture zone under Southern Baikal: from Cretaceous-Paleogene orogen to Neogene-Quaternary rift**S. V. Rasskazov<sup>1,2</sup>, V. L. Kolomiets<sup>3,4</sup>, R. T. Budaev<sup>4</sup>, I. S. Chuvashova<sup>1,2</sup>,  
A. Al-hamud<sup>1,5</sup>, A. Hassan<sup>1,6</sup>, R. Alokla<sup>1,7</sup><sup>1</sup> *Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*<sup>2</sup> *Institute of Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*<sup>3</sup> *Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia*<sup>4</sup> *Buryat State University, Ulan-Ude, Russia*<sup>5</sup> *Al-Furat University, Deir ez-Zor, Syria*<sup>6</sup> *Al-Bass University, Homs, Syria*<sup>7</sup> *Aleppo University, Aleppo, Syria*

**Abstract.** From the analysis of spatial-temporal distribution of sediments in the south of East Siberia, we present evidence on two stages in the evolution of neotectonic structure: Cretaceous-Paleogene and Neogene-Quaternary. The former was exhibited by formation of the South Baikal orogen accompanied by flank development of the Predbaikal and Selenga-Vitim foredeeps, the latter by the subsidence of the South Baikal basin, its filling of sediments and water simultaneously with the development of the whole Baikal Rift System.

**Keywords:** *Cenozoic, Baikal, sediments*

### Введение

История формирования впадин оз. Байкал и суходольных впадин Байкальской рифтовой системы слабо обоснована из-за фрагментарности имеющейся геологической информации. Вопрос о начале образования впадин обычно сводился к определению возраста наиболее ранних отложений. Поскольку в дельте р. Селенга на глубине 3100 м были вскрыты скважиной эоцено-олигоценные отложения (Замараев, Самсонов, 1959), начало осадконакопления в ней было отнесено, предположительно, к палеоцену. В Южно-Байкальской впадине как историческом ядре Байкальской рифтовой зоны допускалось длительное существование Селенгинского седловидного понижения в рельефе между Становым и Саяно-Хамардабанским поднятиями Саяно-Байкальской горной страны (Логачев, 1974, 2001, 2003).

При сейсмическом профилировании осадочного заполнения Южно-Байкальской впадины выделены три сейсмокомплекса, названные проторифтовым, среднерифтовым и современнорифтовым (Depositional and tectonic..., 1992). Средний (складчатый) и верхний (горизонтально-слоистый) сейсмокомплексы относились к позднеорогенному этапу, нижний (сейсмически-прозрачный) — к раннеорогенному. Термин «орогенез» использовался в геоморфологическом смысле для обозначения процесса образования гор вокруг Байкала (Флоренсов, 1960; Логачев, 1974). Предполагалось также, что сейсмически-прозрачная часть разреза имела мелпалеогеновый возраст (Кайнозой Байкальской ..., 2001; Мац, 2012), хотя отсутствие слоистости этого комплекса не находило никакого объяснения.

По высокой степени хемогенного латеритного выветривания к палеоцену относилась вулканогенно-осадочная толща, вскрытая скважинами при разведке Ахаликского бурогоугольного месторождения на Еловском отроге в Тункинской долине (Волоколаков, Хлыстов, 1967; Хлыстов, Дехтярева, 1970). Общий анализ палеоценовых толщ в разных районах Азии показал, однако, что кора выветривания латеритного типа в палеоцене

этой территории обычно не формировалась. Обогащения глиноземом не обнаружено ни в палеоценовых красноцветах Тянь-Шаня, ни в, предположительно, палеоценовой коре выветривания на о-ве Ольхон (например, в красноцветных породах м. Харалган), ни в палеоценовых красноцветах Центральной и Южной Монголии. Между тем, образование палеоцен-эоценовых бокситов и латеритов во впадинах Предбайкальского прогиба и на Еловском отроге интерпретировалось именно с позиций высокой степени выветривания осадочного материала (Кайнозойские коры..., 1976; Хлыстов, Дехтярева, 1970). На первой территории высокоглиноземистые породы с палеоценовым спорово-пыльцевым комплексом залегают на красноцветах верхоленской свиты верхнего кембрия и, явно, наследуют литологические характеристики этих пород в результате их местного размыва. Подобным образом, с переотложением материала пород верхнего кембрия пространственно связана и осадочно-вулканогенная толща Еловского отрога, но палеоценовый возраст этой толщи не был подтвержден определениями спор и пыльцы.

Исходя из пространственно-временного распределения осадочных отложений и вулканических пород на юге Восточной Сибири, Южно-Байкальская впадина рассматривалась как структура ранне-среднекайнозойской Тунка-Еравнинской рифтовой зоны и позднекайнозойской Байкальской (Rasskazov, 1994). Проблематичность палеоценового возраста высокоглиноземистой вулканогенно-осадочной толщи в Тункинской долине ставит под сомнение единство ранне-среднекайнозойской Тунка-Еравнинской структуры и заставляет нас снова обратиться к анализу палеогеновых и неоген-четвертичных структур юга Восточной Сибири. Возникает вопрос — явились ли ранние и поздние отложения района Южного Байкала отражением процессов единого длительного структурного развития впадины на протяжении всего кайнозоя или обозначили сначала осадконакопление в палеогеновых структурах одного типа, а затем — в неоген-четвертичных другого?

### 1. Соотношения впадин оз. Байкал с шовной зоной Сибирского кратона

Пространственное положение структурного шва кратона маркируется поясом положительных гравитационных аномалий. В Южно-Байкальской впадине этот пояс смещен от ее центральной части к северо-западному борту (Кайнозой ..., 2001). По пространственному переходу от геологических комплексов кратона к комплексам акретированных террейнов шовная зона протягивается под Южно-Байкальской и Северо-Байкальской впадинами. На междувпадинной структурной перемычке, обозначенной о-вом Ольхон и подводным Академическим хребтом, шовная зона смещена в Приольхонье и проходит по Приморскому разлому.

Милониты шовной зоны, обнаженные на западном окончании Южного Байкала в районе пос. Култук, погружаются под озеро. Мы предполагаем, что зона милонитов представлена в фундаменте впадины и перекрыта донными отложениями озера (рис. 1).

Одним из аргументов в пользу такой интерпретации служит систематика отношения активностей ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  трещинных вод из тектонитов шовной зоны в районе пос. Култук (Разработка Култукского..., 2015), из которой следует, что резервуар воды Южно-Байкальской впадины генетически связан с подземными водами, циркулирующими под ней в шовных милонитах, и существенно отличается от подземных вод, циркулирующих в породах сопредельных территорий Сибирского кратона и слюдянского кристаллического комплекса.

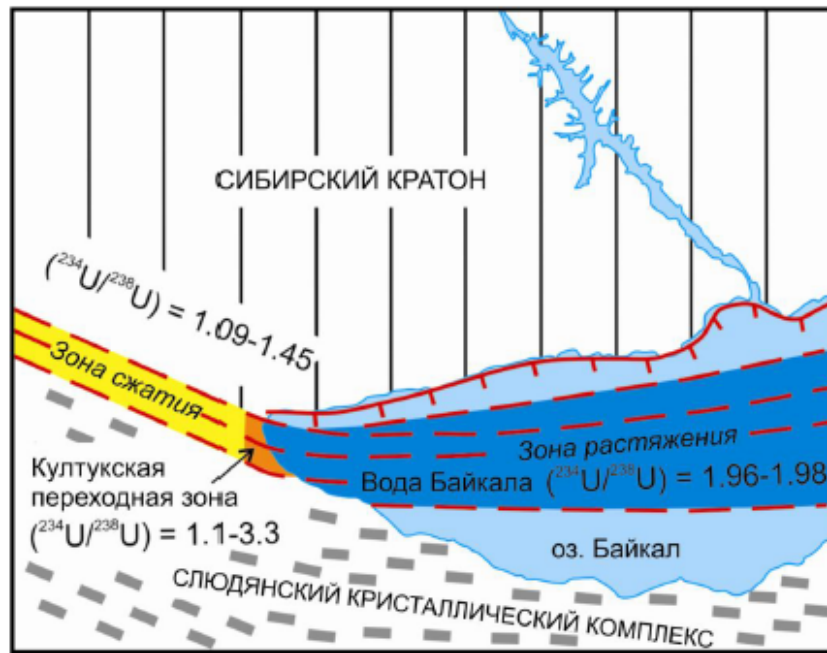


Рис. 1. Переход шовной зоны между Сибирским кратоном и слюдянским кристаллическим комплексом от сжимающегося фрагмента Главного Саянского разлома к растягивающемуся фрагменту под Южно-Байкальской впадиной. Переход регистрируется резким возрастанием отношения активностей ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) в подземных водах и в глубинной воде Южного Байкала.

Fig. 1. Transition of the suture zone between the Siberian craton and Slyudyanka crystalline complex from a compressional fragment of the Main Sayan Fault to an extensional one beneath the South Baikal basin. The transition is recorded by increasing activity ratio ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) in groundwater and deep water of Southern Baikal.

В узком изотопном составе урана и стронция глубинных вод резервуара Южного Байкала отразился гомогенный состав их источника. Породы шовной зоны представляют собой интенсивно перетертый гомогенизированный материал, в отличие от существенно неоднородного материала Сибирского кратона и аккрецированных террейнов.

На сейсмическом профиле такой материал шовной зоны должен быть сейсмически-прозрачным. Именно свойство однородности послужило основанием для выделения нижнего сейсмического комплекса Южно-Байкальской впадины (Depositional and tectonic..., 1992). Мы интерпретируем этот комплекс как фундамент и к собственно осадочным относим только два других вышележащих слоистых комплекса.

### 2. Развитие рельефа

В Предбайкальском и Селенгино-Витимском прогибах седиментация началась приблизительно в одно время — в кампане-маастрихте (Стратиграфия ..., 2007). Между прогибами, на месте современной Южно-Байкальской впадины, находилось мел-палеогеновое протоподняtie, относительно которого прогибы изначально оформились как фланговые предгорные тектонические структуры.

О существовании такого протоподнятия свидетельствуют резкие отличия мел-палеогеновых растительных комплексов Предбайкальского и Селенгино-Витимского прогибов (устное сообщение В. М. Климановой в 1985 г.). Фитогеографическое отличие территорий севернее и южнее Южного Байкала (соответственно, территории от северной оконечности Байкала до Восточного Саяна и территории Витимского плоскогорья) продолжало сохраняться и в позднем кайнозое; первая территория была частью Казахской фитогеографической провинции, вторая — Приморской (Стратиграфия ..., 2007).

Реконструируемое мел-палеогеновое Южно-Байкальское протоподняtie образовалось в связи с локальными деформациями в структурном шве между фундаментом Сибирского кратона и аккрециро-

ванными к нему более молодыми террейнами. Предбайкальский и Селенгино-Витимский прогибы были динамически связаны с этим протоподнятием и формировались, соответственно, на краю раннедокембрийского кратона и в сопредельной палеозойской складчатой области (рис. 2).

### 3. Маркирующие осадочные слои

На северном склоне мел-палеогенового Южно-Байкальского протохребта были экспонированы и размывались красноцветные отложения верхоленской свиты осадочного чехла Сибирской платформы. Материал отлагался в Предбайкальском прогибе (Логачев и др., 1964; Кайнозойские коры..., 1976). В Селенгино-Витимском прогибе источником обломочного материала служили породы шовной зоны осевой части и южного склона мел-палеогенового Южно-Байкальского протохребта.

Ранние отложения Южно-Байкальской и Баргузинской впадин были вовлечены в глубокое позднекайнозойское погружение и в настоящее время доступны для изучения на поднятых тектонических ступенях (блоках), испытавших инверсионное поднятие вдоль южных бортов. Ранние отложения Южно-Байкальской впадины обнажены фрагментарно на Прихамардабанской ступени в виде слоя «синих глин» олигоценного возраста в основании разреза р. Половинка Танхойского третичного поля (Отложения ..., 2014). Наличие прослоев «синих глин» отмечалось в разновозрастных отложениях Танхойского третичного поля и в керне глубокой скважины дельты р. Селенга (Пальшин, 1955; Замараев, Самсонов, 1959; Отложения..., 2014). Синяя окраска объяснялась наличием вивианита (Машук, Акулов, 2012).

Нижние части разрезов отложений Прихамардабанской и Прикатской тектонических ступеней сопоставимы между собой. В обоих случаях аллювиальные красноцветные отложения замещаются по латерали угленосными озерно-болотными отложениями. На Прихамардабанском блоке Южно-Байкальской впадины такое замещение выявлено от бассейна р. Мишиха к бассейну р. Половинка.

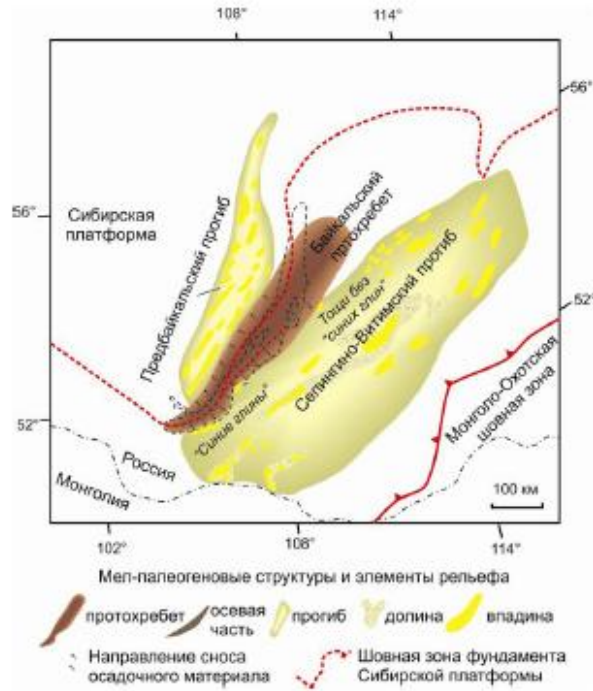


Рис. 2. Схематичная реконструкция мел-палеогенового рельефа и седиментации на юге Восточной Сибири. Контур оз. Байкал показан штриховой линией.

Fig. 2. Schematic reconstruction of the Cretaceous-Paleogene relief and sedimentation in the south of Eastern Siberia. Contour of Lake Baikal is shown by the dashed line.



Рис. 3. Прослой «синих глин» в палеогеновых красноцветных отложениях Танхойской тектонической ступени на правобережье р. Мишиха.

Fig. 3. The layer of "blue clay" in the Paleogene red beds of the Tankhoy tectonic ledge on the right side of Mishikha River.

Подобное латеральное замещение красноцветных отложений угленосными обнаружено на Прикатском блоке Баргузинской впадины от района пос. Уро к району пос. Бодон. Аллювиальные красноцветные фации территорий датируются палеогеном, угленосные озерно-болотные — нижним-средним миоценом.

Мы предполагаем, что слои «синих глин» представляют собой продукты размыва милонитов из Южно-Байкальского фрагмента шовной зоны Сибирского кратона (рис. 4). Своеобразная окраска глин находит объяснение в идентификации отложений этого типа только в разрезах Прихамардабанской ступени и дельты р. Селенга. До района Баргузинской впадины шовные милониты не распространялись, поэтому «синие глины» в основании разреза отложений Прикатского блока отсутствуют.



Рис. 4. Милонит из шовной зоны (район пос. Култук) — исходный материал для «синих глин».

Fig. 4. Mylonite from the suture zone (near Kul-tuk village) — the source material for the "blue clay".

#### 4. Геодинамические условия смены сжатия растяжением литосферы

На новейшем геодинамическом этапе литосфера Азии испытывала общее движение в направлении восток-юго-восток (Rasskazov, Chuvashova, 2016). Южно-Байкальское протоподнятия и сопряженные с ним передовые прогибы формировались в процессе воздействия на лито-

сферу материала первичной Байкальской расплавленной аномалии переходного слоя мантии, выраженной в вулканизме Хуштиндинского и Иренгинского полей позднего мела-палеогена во временном интервале 100–50 млн лет назад. В области первичной Байкальской расплавленной аномалии переходного слоя, располагавшейся под Западным Забайкальем, сформировался подлитосферный противопоток, сопряженный с восток-юго-восточным движением литосферы. Эта динамика явилась реакцией на раннекайнозойское проявление механизма роллбэк на границе между восточной окраиной Азии и плитой Кула-Изанаги.

В концепции глобальной тектоники предполагается, что литосферные плиты перемещаются благодаря эффекту волочения, обусловленному мантийным потоком, действующим на основание литосферы. В условиях медленного мел-палеогенового движения литосферы Азии (со средней скоростью около  $0,1 \text{ см} \times \text{год}^{-1}$ ) эффект волочения распространялся от первичной Байкальской расплавленной аномалии до юго-восточной шовной зоны, вызывая ее сжатие, повлекшее образование орогена (в тектоническом смысле этого термина). Переход к развитию структур Байкальской рифтовой зоны отразил перестройку движения плит на востоке Азии. Субдукция Тихоокеанской плиты, инициированная на рубеже олигоцена и миоцена, сопровождалась повторным включением механизма роллбэк и существенным увеличением скорости движения литосферы Азии (до  $3 \text{ см} \times \text{год}^{-1}$ ). В этих условиях эффект волочения привел к растяжению юго-восточной шовной зоны Сибирского кратона.

На неоген-четвертичном этапе обособилась вторичная верхнемантийная Северо-Байкальская расплавленная аномалия, активность которой проявилась в извержениях начала вулканического следа на Витимском плоскогорье со середины миоцена до неоплейстоцена (с 16 до 0,6 млн лет назад). Над первичной Байкальской расплавленной аномалией образовалась Селен-

гинская седловина, над вторичной Северо-Байкальской активизировался северо-байкальский фрагмент шовной зоны Сибирского кратона.

### 5. Обсуждение и заключение

Итак, в основании разрезов осадочных отложений на Прихамардабанском и Прикавказском тектонических блоках идентифицированы палеогеновые и нижне-среднемиоценовые толщи. При формировании этих толщ рельеф не был существенно расчленен. Базис эрозии находился приблизительно на одном уровне. В обоих тектонических блоках эти толщи перекрыты средне-верхнемиоценовыми озерными и плиоцен-четвертичными полифациальными отложениями.

В сухоходольных впадинах северо-восточной части Байкальской рифтовой зоны седиментация началась в среднем миоцене (Стратиграфия ..., 2007). Во впадинах оз. Байкал и впадинах Тункинской рифтовой долины осадочные отложения угленосной танхойской свиты датируются миоценом — нижним плиоценом. Небольшие фрагменты олигоценовых отложений (в том числе, отложений «синих глин») представляют собой останцы, уцелевшие от эрозии, сопровождавшей образование впадин Байкальской рифтовой зоны. Эти фрагменты рассматриваются нами в составе дотанхойского (мел-палеогенового) осадочного комплекса (Стратиграфия ..., 2007; Отложения..., 2014). В настоящей работе дотанхойские отложения связываются с этапом формирования передовых прогибов Южно-Байкальского протоподнятия (орогена).

Мы приходим к выводу о том, что ранние и поздние отложения района Южного Байкала не могут рассматриваться как отражение процессов единого, длительного структурного развития впадины на протяжении всего кайнозоя. Ранние отложения обозначили осадконакопление в палеогеновых структурах одного типа, поздние — в структурах другого типа. Из анализа пространственно-временного распределения осадочных отложений следует

вывод о начальном мел-палеогеновом формировании Южно-Байкальского протоподнятия (орогена) с фланговым развитием предгорных прогибов и о последующем (неоген-четвертичном) развитии полосы впадин и поднятий Байкальской рифтовой зоны.

Южно-Байкальская впадина, заполненная осадочными отложениями и водой, образовалась при смене восходящих движений позднего мела-палеогена нисходящими движениями неогена-квартера. Смена орогенного этапа рифтовым в развитии шовной структуры Южного Байкала согласуется с гипотезой о двухэтапной новейшей геодинамической эволюции Азии, характеризующейся однонаправленным восток-юго-восточным движением ее литосферы.

### 6. Благодарности

Работа выполнена в Китайско-Российском исследовательском центре Удаляньчи-Байкал по новейшему вулканизму и окружающей среде, грант № P162011012 и грант научно-исследовательского фонда Академии наук провинции Хэйлуцзян КНР (2016 г.) при частичном финансировании РФФИ, грант 17-05-00808.

### Литература

Замараев С. М. Геологическое строение и нефтегазоносность Селенгинской депрессии / С. М. Замараев, В. В. Самсонов // Геология и нефтегазоносность Восточной Сибири. — М.: Госпотехиздат, 1959. — С. 435–475.

Волколаков Ф. К. О наличии гидраргиллита в палеогеновой (?) коре выветривания Тункинской впадины / Ф. К. Волколаков, П. А. Хлыстов // Материалы по геологии и полезным ископаемым Бур. АССР. — Вып. II. Улан-Удэ, 1967. — С. 51–53.

Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история / В. Д. Мац [и др.]. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2001. — 252 с.

Кайнозойские коры выветривания и осадочные формации Западного Прибайкалья / С.

- Ф. Павлов [и др.] / Ред. М. М. Одинцов. — Новосибирск, 1976. — 160 с.
- Логачев Н. А. Саяно-Байкальское и Становое нагорья / Н. А. Логачев // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. — М.: Наука, 1974. — С. 16–162.
- Логачев Н. А. Об историческом ядре Байкальской рифтовой зоны / Н. А. Логачев // Доклады АН, 2001. — Т. 376, № 4. — С. 510–513.
- Логачев Н. А. История и геодинамика Байкальского рифта / Н. А. Логачев // Геология и геофизика, 2003. — Т. 44, № 4–5. — С. 391–406.
- Логачев Н. А. Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра / Н. А. Логачев, Т. К. Ломоносова, В. М. Климанова. — М.: Наука, 1964. — 187 с.
- Мац В. Д. Возраст и геодинамическая природа осадочного выполнения Байкальского рифта / В. Д. Мац // Геология и геофизика, 2012. — Т. 53, № 9. — С. 1219–1244.
- Машук И. М. Олигоценые отложения Байкальской рифтовой впадины / И. М. Машук, Н. И. Акулов // Геология и геофизика, 2012. — Т. 53, № 4. — С. 461–475.
- Отложения Танхойского третичного поля, Южнобайкальская впадина: стратиграфия, корреляции и структурные перестройки в Байкальском регионе / С. В. Рассказов [и др.]. // *Geodynamics & Tectonophysics*. — 2014. — V. 5, N 4. — P. 993–1032.
- Разработка Култукского сейсмопрогностического полигона: вариации ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в подземных водах из активных разломов западного побережья Байкала / С. В. Рассказов [и др.]. // *Geodynamics & Tectonophysics*, 2015. — V. 6, N 4. — P. 519–554. DOI:10.5800/GT-2015-6-4-0192.
- Стратиграфия кайнозоя Витимского плоскогорья: феномен длительного рифтогенеза на юге Восточной Сибири / С. В. Рассказов [и др.]. — Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. — 193 с.
- Флоренсов Н. А. Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья / Н. А. Флоренсов. — М.–Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. — 258 с.
- Хлыстов П. А. Основные этапы мезокайнозойского выравнивания и корообразования в Западном Забайкалье / П. А. Хлыстов, Л. В. Дехтарева // Мат-лы по геол. и полезн. ископ. Бурятской АССР. — Вып. XIII. — Улан-Удэ: Бурят. Кн. изд-во, 1970. — С. 50–57.
- Depositional and tectonic frame work of the rift basin of Lake Baikal from multichannel seismic data / D. R. Hutchinson [et al.] // *Geology*, 1992. — V. 20. — P. 589–592.
- Rasskazov S. V. Magmatism related to the East Siberia rift system and the geodynamics / S.V. Rasskazov // *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf. Aquitaine*, 1994. — V. 18, N 2. — P. 437–452.
- Rasskazov S. V. The latest geodynamics in Asia: Synthesis of data on volcanic evolution, lithosphere motion, and mantle velocities in the Baikal-Mongolian region / S. V. Rasskazov, I. S. Chuvashova // *Geoscience Frontiers*. 2016. — doi:10.1016/j.gsf.2016.06.009.