

**АКАДЕМИК Н.А. ЛОГАЧЕВ И ЕГО НАУЧНАЯ ШКОЛА:
ВКЛАД В ИЗУЧЕНИЕ КАЙНОЗОЙСКИХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РИФТОВ**
С.В. Рассказов, С.И. Шерман, К.Г. Леви, В.В. Ружич, В.М. Кожевников, В.А. Саньков
Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Фундаментальные представления о строении и развитии Байкальской системы рифтовых впадин были заложены в трудах Н.А. Флоренсова и Н.А. Логачева. В книге «Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья», опубликованной в 1960 г., Н.А. Флоренсов провел первичный анализ исходных данных и дал подробный обзор имевшихся материалов и выводов исследователей Прибайкалья, обратив особое внимание на то, что впадины байкальского типа сравнивались с впадинами Восточной Африки и Аравии А.В. Львовым (1904 г.) и Е.В. Павловским (1930-е гг.). Рассматривая распределение вулканогенных и осадочных формаций в рельефе, он пришел к выводу «об исключительной локализации кайнозойских впадин в Прибайкалье, о том, что последние как бы вложены, «втиснуты» в гораздо более широкое и ровное мезозойское тектоническое поле» [Флоренсов, 1960, с. 189]. Характеристика осадочных и вулканических пород Тункинской впадины и Еловского отрога – одной из ключевых территорий Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) – приведена в монографии Н.А. Флоренсова в основном по материалам, полученным и опубликованным Н.А. Логачевым в 1955–1958 гг. Эта книга «явилась не только крупным событием восточно-сибирского масштаба, но и предтечей многих региональных и надрегиональных работ как самого Николая Александровича, так и его учеников и последователей» [Николай Александрович Флоренсов, 2003, с. 21]. В монографии «Нагорья Прибайкалья и Забайкалья» (1974 г.), подготовленной коллективом авторов под научным руководством Н.А. Логачева, понимание последовательности и условий формирования кайнозойских отложений во впадинах БРЗ и сопредельных территорий было уже поднято на новый уровень благодаря созданию в конце 50-х и первой половине 60-х годов региональных стратиграфических схем. Эта книга опубликована в составе многотомной монографической серии «История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока» (1960–1976 гг.), отмеченной Государственной премией СССР в области науки и техники. Авторский коллектив многотомной серии «Геология и сейсмичность зоны БАМ» (1983–1984 гг.), изданной под редакцией Н.А. Логачева, был удостоен премии Совета Министров СССР в области науки и техники.

Результаты работ по Байкальскому рифту выведены на международный уровень, прежде всего, благодаря активности Н.А. Логачева. На базе Института земной коры в июне 1966 г. состоялась выездная сессия Научного совета по комплексным исследованиям земной коры и верхней мантии с геологической экскурсией по Байкалу и в Тункинскую впадину и была принята программа исследований Байкальской рифтовой зоны по проекту «Верхняя мантия». Общее руководство проектом осуществлял член-корреспондент АН СССР В.В. Белоусов, предложивший включить Н.А. в состав экспедиции АН СССР по изучению Восточно-Африканской рифтовой системы (1967–1969 гг.). Позже он вошел в состав Рабочей группы № 4 по международному геодинамическому проекту «Континентальные и океанические рифты», проводил исследования по Геодинамическому проекту и программе «Литосфера», выступал в качестве руководителя с российской стороны в совместных советско-американских сравнительных исследованиях рифтов Байкала и Рио-Гранде (1988–1989 гг.) и в совместных российско-европейских исследованиях Байкальской и Восточно-Африканской рифтовых систем по проектам ИНТАС «Сравнительный анализ механизмов осадконакопления в рифтах» (CASIMIR) и «Тектоника континентальных рифтов и эволюция осадочных бассейнов» (1990–1996 гг.).

Основные положения проекта CASIMIR были доложены в Новосибирске на специализированном совещании под эгидой НАТО [Klerkx et al., 1995]. В рамках проекта при Институте земной коры СО РАН был создан научно-исследовательский Центр по изучению активной тектоники, велись международные комплексные геолого-геофизические исследования рифтов Сибири и Африки, осуществлялись международные экспедиции, публиковались материалы этих исследований в международной печати. В Центре было осуществлено издание специального выпуска журнала «Bulletin Centre of Researches of Elf Explorer Production», в котором были изложены материалы комплексных геолого-геофизических исследований Восточно-Африканской и Байкальской рифтовых систем. Научные исследования по рифтовой тематике в рамках проекта CASIMIR оказались в конечном итоге одним из важнейших событий для ИЗК СО РАН и его директора академика Н.А. Логачева. Начавшиеся чуть позже GPS-геодинамические исследования на Монголо-Байкальском полигоне, по существу, зародились в недрах этого проекта.

Высокая степень изученности кайнозойских континентальных рифтовых зон Евразии, Африки и Северной Америки, а также новые методики и возможности обработки и анализа больших массивов геологической и геофизической информации выдвинули на рубеже XX и XXI столетий в качестве приоритетной задачи создание комплексной модели развития рифтогенеза с его зарождения до современности. Для обоснования модели осуществлялся литолого-фациальный и формационный анализ осадочного и вулканогенного заполнения рифтовых впадин, изучались микроэлементные и изотопные характеристики магматических пород, генетически или парагенетически связанных с рифтогенезом, выявлялись особенности напряженного состояния литосферы, сочетающего растяжение со сдвигом, определялся уровень современной тектонической активности, выражаемой сейсмичностью и юным разломообразованием, проводилась комплексная обработка геофизических и петрологических данных о строении, состоянии и возможном составе глубинных уровней литосферы и астеносферы. Выяснялись условия развития рифтогенеза во внутренних частях и на окраинах материков, определялась потенциальная способность мощных осадочных толщ рифтовых впадин к продуцированию и накоплению энергоносителей (нефть, газ, бурый уголь) и природа различий рифтовых зон по уровню сеймотектонической активности и тенденций в развитии опасных экзогеодинамических процессов. Решение поставленных задач осуществлялось в рамках работ научной школы «Кайнозойский континентальный рифтогенез» (РФФИ 00–15–98574) под руководством Н.А. Логачева. Получили развитие пять направлений исследований (рис. 1).

Смена мелкообломочных осадочных отложений грубообломочными молассоидами в разрезах осадочного заполнения рифтовых впадин интерпретировалась как свидетельство двух этапов их прогибания – медленного и быстрого [Logatchev, Florensov, 1978]. На основе общего анализа геофизических данных и структуры Байкальской рифтовой зоны был сделан вывод о постепенном поднятии границы астеносферы–литосферы от 120–150 км до современного уровня 40–50 км под осевой частью Саяно-Байкальского свода, начиная приблизительно с 30 млн лет назад. Ранний этап «медленного рифтогенеза» связывался с медленным поднятием астеносферного диапира, а поздний этап «быстрого рифтогенеза» – с достижением диапиром малой глубины близ основания коры и растеканием астеносферного вещества к югу от края «холодной плиты» Сибирского кратона [Logatchev et al., 1983; Logatchev, Zorin, 1987, 1992; Logatchev, 1993].

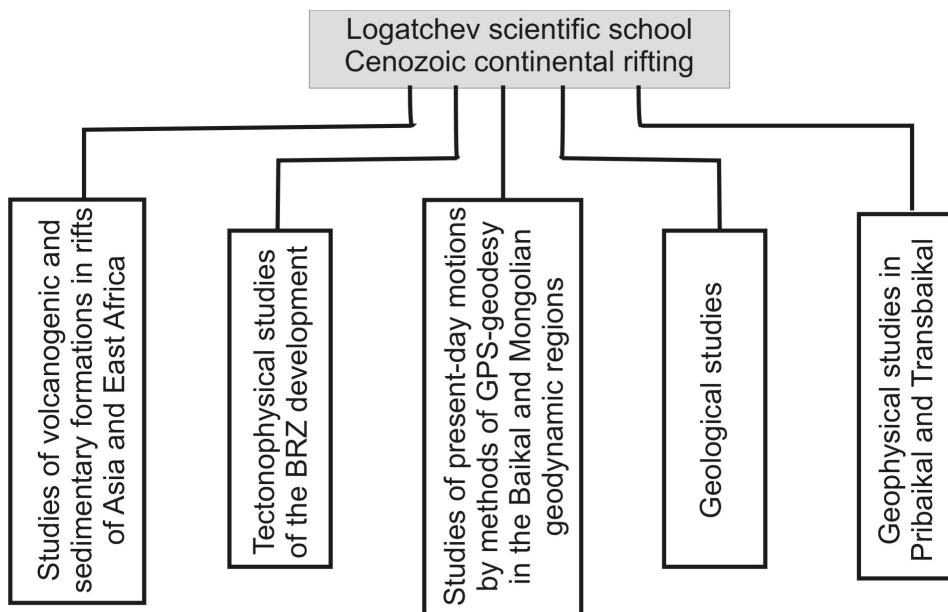


Рис. 1. Направления научной школы Н.А. Логачева «Кайнозойский континентальный рифтогенез».

Fig. 1. Scientific directions in the Logatchev school «Cenozoic continental rifting».

Аномально низкие скорости были установлены в мантии под Байкальской рифтовой зоной уже в 1970-х годах [Рогожина, Кожевников, 1979]. Скоростная глубинная структура мантии изучалась по 27 сейсмическим станциям, выставленным вдоль профиля от Сибирской платформы через Байкал в Монголию в рамках российско-американского проекта в 1991 г. Полученные результаты подтвердили поднятие границы литосферы–астеносферы под рифтовой зоной и ее асимметричную форму [Gao et al., 1994]. Новым важным результатом явилась трехмерная сейсмическая модель S-волн, построенная для верхней мантии Азии по записям широкополосных цифровых станций IRIS с дополнительными данными временных цифровых станций, использованных в 1991–1992 гг. в работах по российско-американскому проекту «Телесеismicкая томография Байкальского рифта», и оцифрованных аналоговых записей сейсмических станций Новосибирска, Иркутска и Южно-Сахалинска в период 1975–1987 гг. [Yanovskaya, Kozhevnikov, 2003] (рис. 2). Определен главный мотив кайнозойской глубинной динамики Азии, вытекающий из связи эволюции магматизма Центрально-Азиатской орогенной системы с мантийными процессами в Саяно-Монгольском низкоскоростном домене (интервал глубин 50–200 км) и магматизма восточной окраины Азии с процессами в Забайкальском низкоскоростном домене (интервал глубин 200–350 км) (рис. 3).

Важные выводы сделаны при сравнительном изучении вулканогенных и осадочных формаций рифтов Азии и Восточной Африки. Для последнего региона была разработана новая схема пространственно-временной эволюции вулканизма и рифтогенеза с определением характера зарождения и распространения подлитосферной термальной аномалии. Ее основу составили выявленные прежде закономерности распределения вулканогенных и осадочных формаций [Логачев, 1977] и новые результаты ^{40}Ar – ^{39}Ar датирования вулканических пород поля Рунгве Западного рифта, полученные по проекту CASIMIR. Установлено, что глубинный разогрев начинался в среднем эоцене в районе Турканской седловины, разделяющей Эфиопское и Восточно-Африканское плато. Мощное плюмовое термальное воздействие на литосферу первого плато выразилось в массовых вулканических извержениях, распространившихся в его

центральной части вдоль Эфиопского рифта ~30 млн лет назад. На втором плато термальная эрозия литосферы была сосредоточена под периферией – в Кенийском рифте, начиная с 23 млн лет назад, а в Западном рифте – с 19 млн лет назад (рис. 4). В Байкальской рифтовой системе имело место подобное асинхронное двустороннее распространение вулканизма и рифтогенеза от Селенгинской седловины, разделяющей Саяно-Хамардабанское и Становое поднятия [Логачев, 2003; Рассказов и др., 2003б].

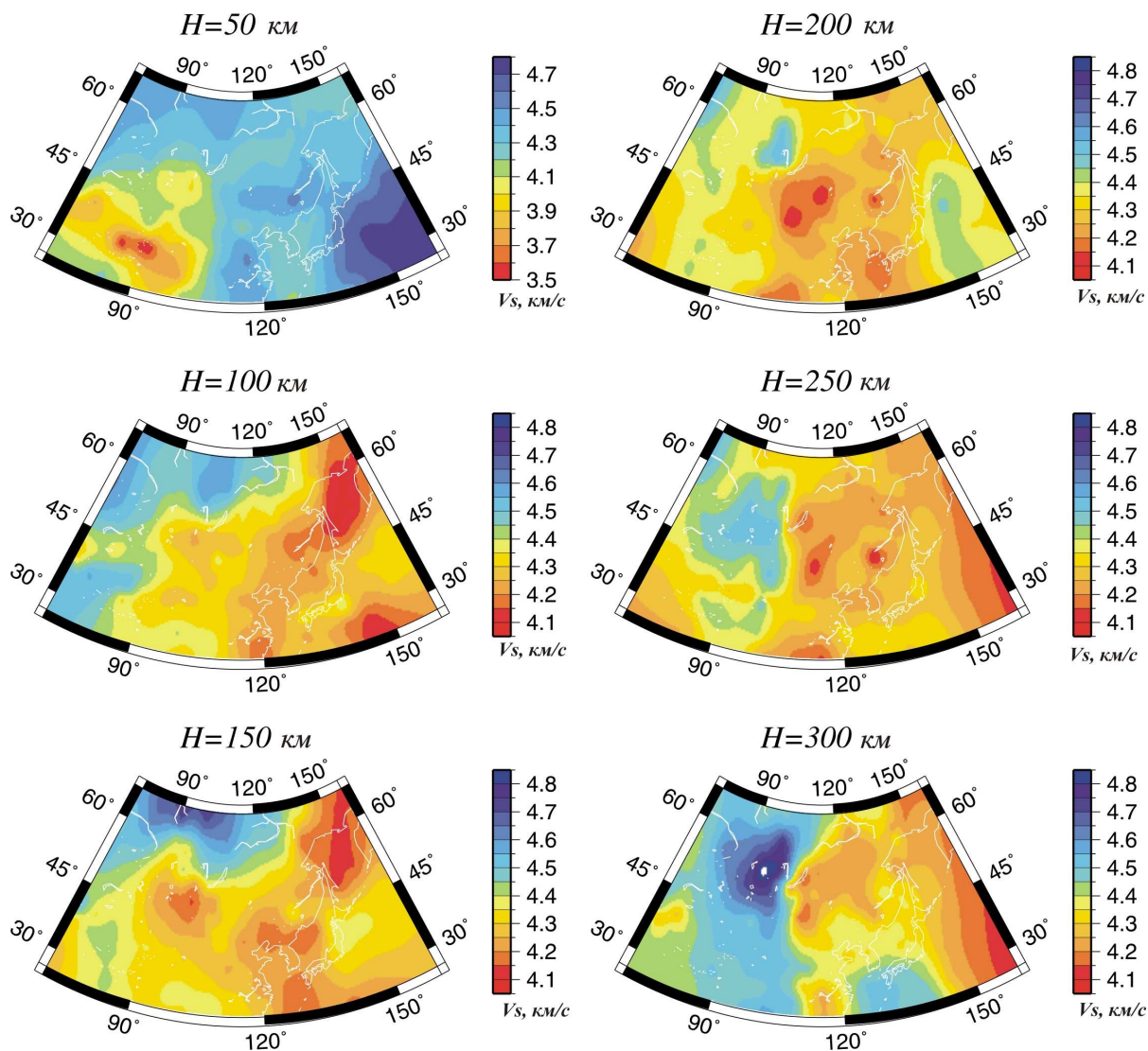


Рис. 2. Распределение скоростей S-волн в верхней мантии Азии [Yanovskaya, Kozhevnikov, 2003].

Fig. 2. Distribution of S-wave velocities in the upper mantle of East and Central Asia [Yanovskaya, Kozhevnikov, 2003].

Вслед за своим учителем Н.А. Флоренсовым, Н.А. Логачев придавал громадное значение исследованиям разломной тектоники, а в ряде исследований принимал активное участие как руководитель и исполнитель работ, результаты которых имеют и сегодня принципиальное отношение к организованной им научной школе.

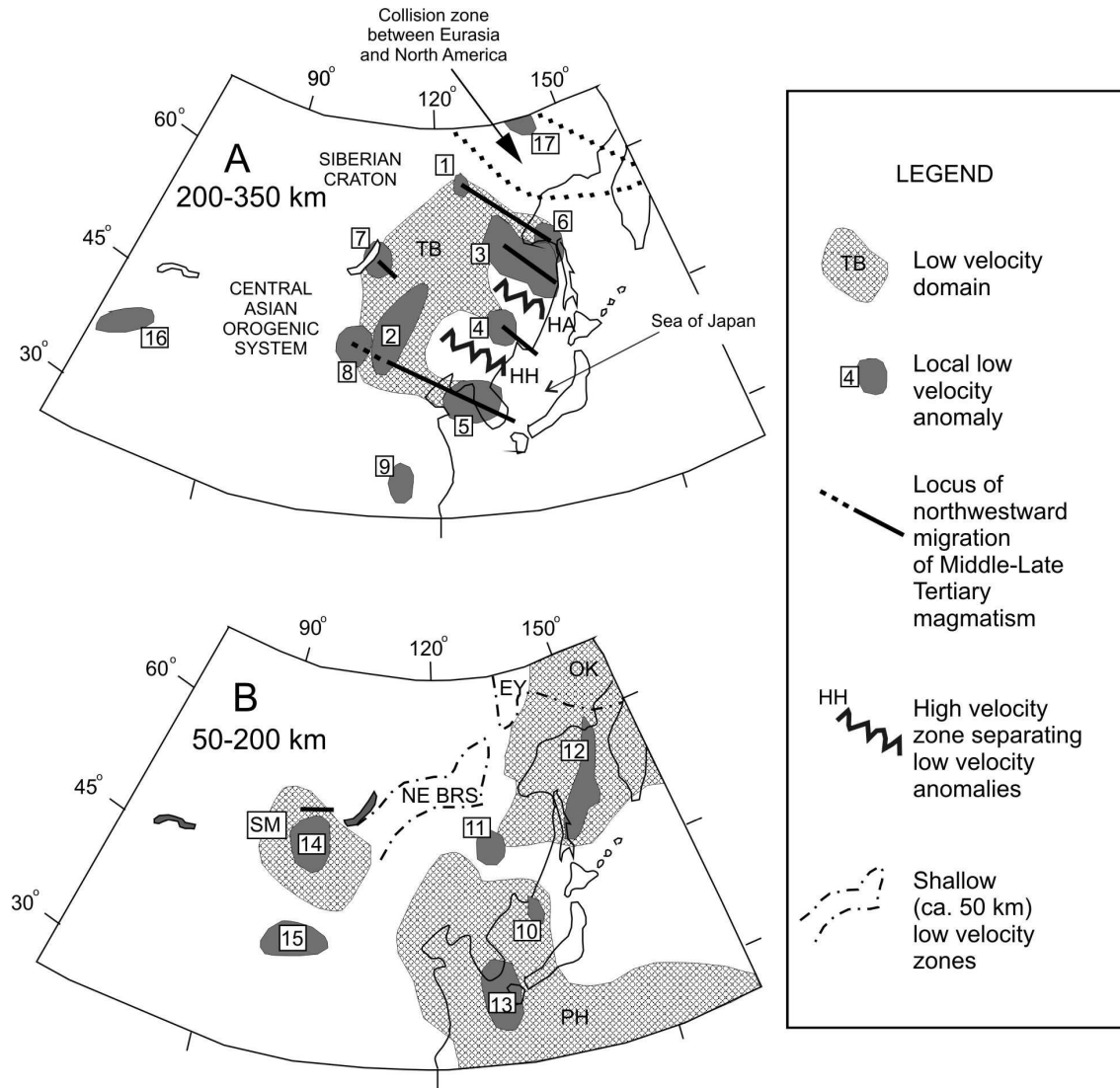


Рис. 3. Пространственные соотношения следов горячих пятен кайнозойского мигрирующего вулканизма с низкоскоростными аномалиями Центральной и Восточной Азии глубинных ярусов 200–350 км (A) и 50–200 км (B) [Рассказов и др., 2003a].

Низкоскоростные домены: более глубокий (250–350 км) Забайкальский (ТВ) и менее глубокие (150 км) Саяно-Монгольский (SM), Филиппиноморский (PH), Охотоморский (OK). Низкоскоростные локальные аномалии (цифры в прямоугольниках): Ленская (1, глубина 300–350 км) и Восточно-Монгольская (2, глубина 250 км), Совгаванско-Удская (3, глубина 200–250 км), Амурская (4, глубина 200–250 км), Северо-Корейская (5, глубина 200–250 км), Северо-Сахалинская (6, глубина 300 км), Южно-Приморская (10, глубина 100 км), Южно-Корейская (13, глубина 200 км), Северо-Байкальская (7, глубина 250 км), Южно-Монгольская (8, глубина 200 км), Южно-Китайская (9, глубина 300–350 км), Таримская (10, глубина 300–350 км), Хелунцзянская (11, глубина 100 км), Северо-Монгольская (14, глубина 150 км), Цайдамская (15, глубина 100 км), Эльгинская (16, глубина 200 км), Сахалино-Магаданский аномальный выступ над Охотоморским доменом (12, глубина 100 км). Высокоскоростные переемы между низкоскоростными аномалиями: НА – Хоккайдо–Амурская, НН – Хонсю–Хинганская. Малоглубинные (50 км) низкоскоростные зоны северо-восточной части Байкальской рифтовой системы (NE BRS) и структур Восточной Якутии (EY) [Рассказов и др., 2003a]. Схема составлена на основе скоростной модели S-волн [Yanovskaya, Kozhevnikov, 2003; Актуальные вопросы..., 2005], показанной на рис. 2.

Fig. 3. Low velocity anomalies within mantle stages of 200–350 km (A) and 50–200 km (B) in East and Central Asia.

Low velocity domains: TB – Transbaikal, SM – Sayan–Mongolia, OS – Okhotsk sea, PH – Philippine sea. Local low velocity anomalies: 1 – Lena (depth 300–350 km), 2 – East Mongolia (250 km), 3 – Sovgavan-Uda (200–250 km), 4 – Amur (200–250 km), 5 – North Korea (200–250 km), 6 – North Sakhalin (300 km), 7 – North Baikal (250 km), 8 – South Mongolia (200 km), 9 – South China (300–350 km), 10 – South Primorye (100 km), 11 – Heilongjiang (100 km), 12 – Sakhalin-Magadan (above the Okhotsk sea domain), 13 – South Korea (200 km), 14 – North Mongolia (150 km), 15 – Tsaidam (100 km), 16 – Tarim (300–350 km), 17 – Elga (200 km). High-velocity dividers: HA – Hokkaido–Amur, HK – Honshu–Khingon. Shallow low velocity zones: NE BRS – Northeastern Baikal rift system, EY – East Yakutia [Расказов и др., 2003a]. The scheme is compiled on basis of the tomographic model of S-waves by Yanovskaya and Kozhevnikov [2003], shown in Fig. 2.

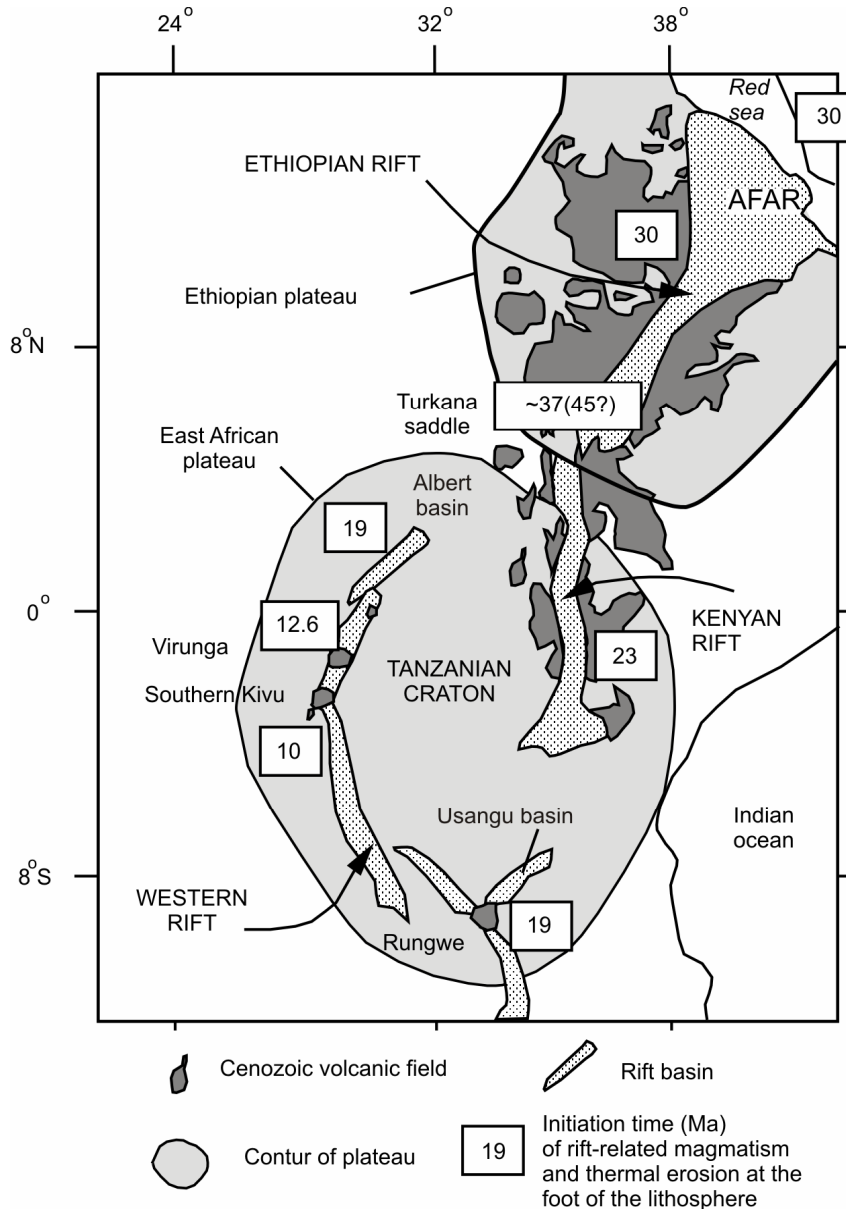


Рис. 4. Пространственно-временное распространение магматизма и термальной эрозии подошвы литосферы в Восточной Африке [Расказов и др., 2003б]. Для впадины Альберт показано время начала осадконакопления.

Fig. 4. Spatial-temporal propagation of magmatism and thermal erosion of the lithosphere in Northeast Africa. For the Albert basin, the initial time of sedimentation is shown.

В монографии «Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя: Южная Сибирь – Южная и Восточная Азия» [Рассказов и др., 2000] и серии статей [Логачев и др., 1998; Рассказов и др., 1998, 2001; и др.] приведены результаты систематического радиоизотопного датирования вулканических и вулканогенно-осадочных толщ позднего кайнозоя юга Сибири (Восточный Саян, Витимское плоскогорье, хр. Удокан) и сравнительных реконструкций вулканизма с привлечением геохронологических данных по другим территориям Азии. Одним из новых результатов явился вывод о значительном (не менее 500 м) расчленении рельефа Тункинской рифтовой долины и Витимского плоскогорья на рубеже раннего и среднего миоцена. На последней территории по данным бурения скважин установлена развитая речная сеть этого возраста (рис. 5). По измеренным соотношениям радиоактивного ^{40}K и радиогенного ^{40}Ar , накапливавшегося в открытой и закрытой системе вермикулита, была впервые получена датировка палеоценовой коры выветривания 59 ± 5 млн лет [Логачев и др., 2002].

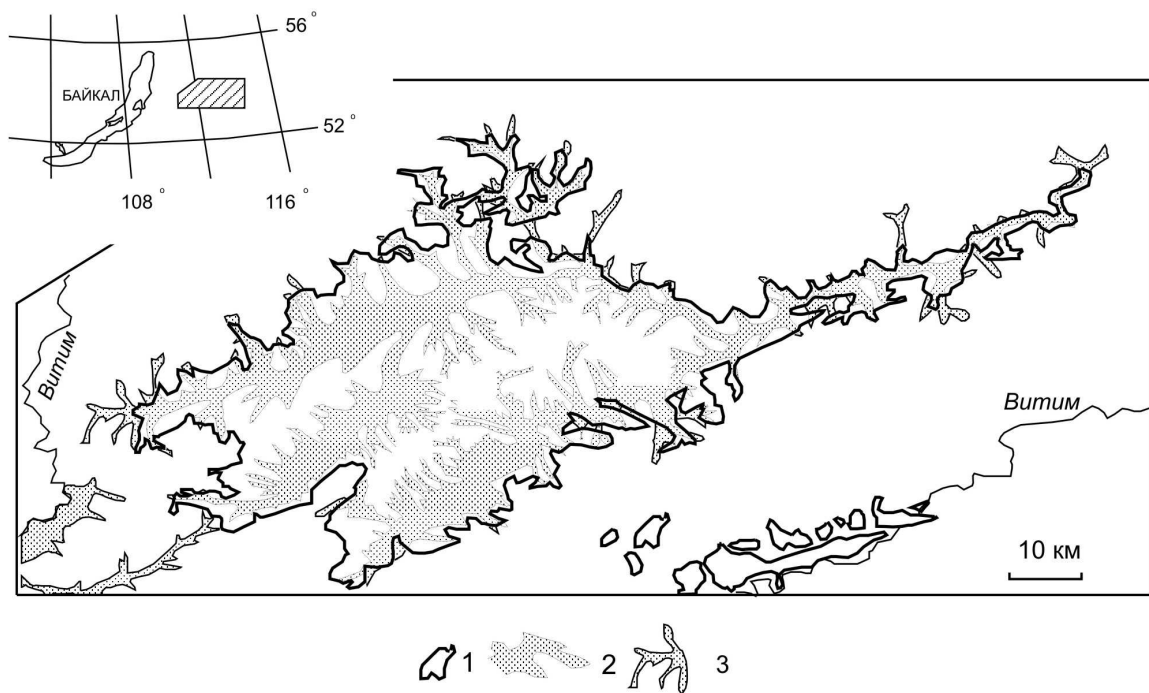


Рис. 5. Раннемиоценовые палеодолины, погребенные под лавами Витимского вулканического поля [Рассказов и др., 2001]. 1 – базальты; 2–3 – палеодолины, погребенные базальтами (2) и непогребенные (3).

Fig. 5. Early Miocene river paleovalleys buried beneath lavas of the Vitim volcanic field. 1 – basalts; 2–3 – paleovalleys, buried by basalts (2) and not buried (3).

К началу 1970-х годов впадины БРЗ были изучены достаточно детально, а разломная тектоника и междувпадинные перемычки – несколько слабее. Проведенные детальные работы в юго-западной части БРЗ [Шерман и др., 1973], а затем и по всей ее территории [Шерман, 1977] показали, что ее главные разломы являются структурами сложного докайнозойского развития, предопределившего и стимулирующего развитие впадин на всех предшествовавших (по крайней мере, с мезозоя) возрастных этапах. Докайнозойской структурой фундамента предопределена известная S-образная форма БРЗ (рис. 6). Структура рифтогенных впадин и перемычек во многом обусловлена

унаследованными деформациями в зонах разломов дорифтогенного тектонического развития земной коры [Ружич, 1975; Zamarayev, Ruzhich, 1978].

Независимо от предшествовавшей истории развития, в кайнозой фиксируется закономерная перестройка всех главных разломов БРЗ: они превращаются в сдвиго-сбросы. В те годы было впервые установлено, что направление сдвига коррелирует с простиранием разломов: все субширотные разломы имеют левостороннюю сдвиговую компоненту, субмеридиональные и северо-восточные – правостороннюю. Эта закономерность объяснена кинематикой раздвижения коры при формировании и активном развитии БРЗ над областью разуплотнения аномальной мантии.

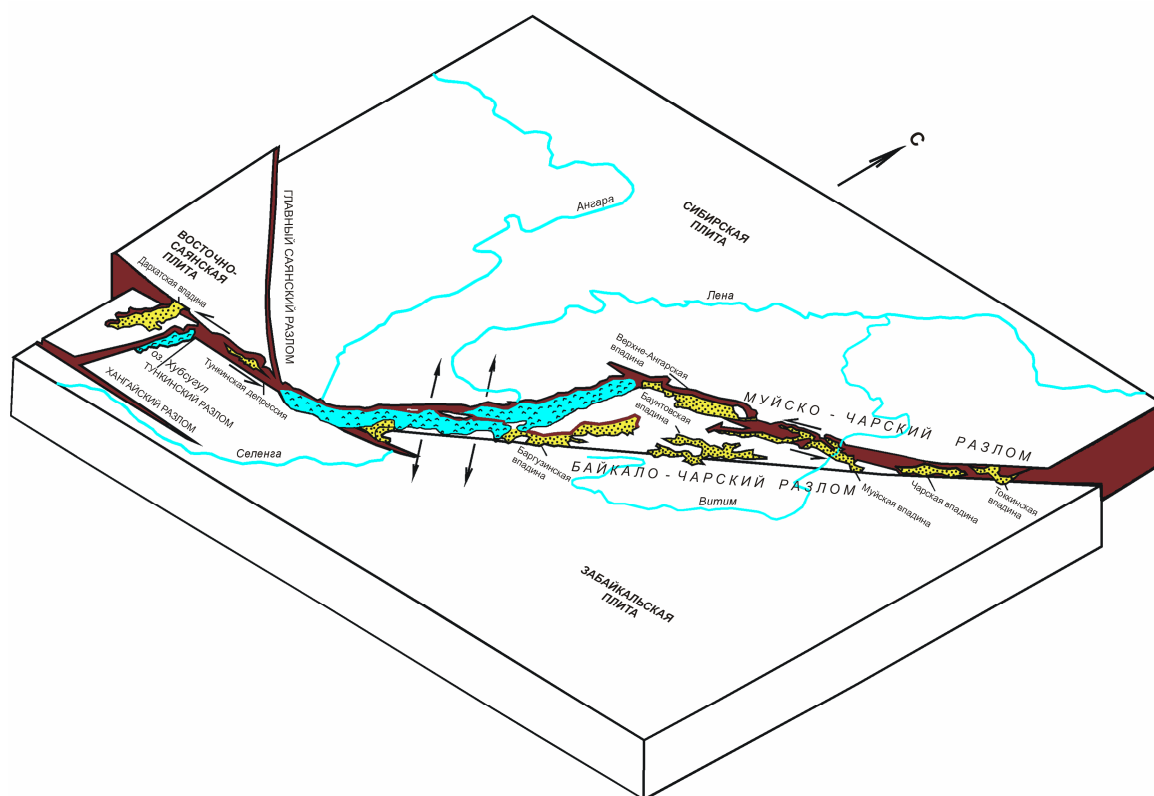


Рис. 6. Блок-диаграмма БРЗ [Шерман, Леви, 1977].

Fig. 6. Block-diagram of the BRZ.

Постановка исследований разломообразования как процесса деструкции литосферы послужила основанием для создания в 1977 г. впервые в СО РАН лаборатории тектонофизики. В лаборатории с активным участием Н.А. Логачева проводилось физическое моделирование образования БРЗ [Логачев и др., 2000]. Установлено, что гетерогенная природа БРЗ обусловила наличие в ее строении широкого спектра структурных элементов, свойственных как пассивным, так и активным рифтам, что, в конечном счете, не позволило однозначно типизировать ее по механизму образования. Для физических экспериментов использовались глинистые пасты с полным соблюдением условий подобия. Процессы пассивного и активного рифтогенеза моделировались при разных условиях нагружения в соответствии со схемами, при которых источниками сил были подлитосферное нагружение и/или боковое сжатие, имитирующее Индо-Азиатскую коллизию. Результаты проведенного

экспериментального исследования позволили говорить, что при формировании БРЗ ведущие источники региональных напряжений – подлитосферные и коллизионные – чередовались. Таким образом, в результате физического моделирования два конкурировавших взгляда на механизм кайнозойского внутриконтинентального рифтогенеза в Центральной Азии сошлись на признании взаимодействия местных и удаленных силовых источников – совместного действия «активного» и «пассивного» механизмов растяжения. Результаты исследований лаборатории по разноранговым разломным структурам были обобщены в трехтомной монографии «Разломообразование в литосфере», изданной под редакцией Н.А. Логачева [Шерман и др., 1991, 1992, 1994].

Большое внимание уделялось Н.А. Логачевым изучению геодинамики БРЗ и континентальной литосферы в целом. В работах [Логачев и др., 1987а, б, 1991] впервые сформулировано понятие о геодинамической активности литосферы. Литосфера – это комплексное структурное понятие верхней оболочки Земли. Активность литосферы выражается в согласованном воздействии на нее сложной многокомпонентной системы частных эндогенных процессов, приводящих к последовательному преобразованию ее внутренней структуры. Последнюю определяет группа геотектонических факторов: скоростей и амплитуд движений, градиентов скоростей движений, интенсивности развития геологических структур определенного возраста, тепловых потоков и магматизма, а также сейсмичности, толщины литосферы и других компонентов, в целом выражающих мощность их энергетических источников. По этим признакам можно картировать масштабы и степень выраженности на земной поверхности геодинамической активности литосферы. Были составлены и опубликованы «Схема геодинамической активности литосферы Азии» [Логачев и др., 1991], «Схема геодинамической активности литосферы Сибири» [Логачев и др., 1987а, б], на первичной идеологии которых с существенными добавлениями составлена «Карта современной геодинамики Азии» (рис. 7). На ней впервые в базовую основу положены три определяющих современную геодинамику параметра: толщина литосферы, напряженное состояние и векторы современных движений ее верхней хрупкой части. В качестве других факторов современной геодинамики показаны активные разломы и вулканы, эпицентры землетрясений с $M \geq 6.0$. Реализованная на «Карте современной геодинамики Азии» модель является фундаментальной базой для пространственно-временного анализа современных геолого-геофизических процессов эндогенного происхождения.

В рамках проекта CASIMIR на базе морских геофизических и геолого-структурных исследований на берегах оз. Байкал впервые была составлена карта активных разломов Байкальской впадины [Леви и др., 1995; Levi et al., 1997] (рис. 8). Впервые обосновано современное структурно-тектоническое районирование впадины оз. Байкал, выявлены его главные структурные элементы, рассмотрены аспекты гляциоизостазии в Байкальском рифте, выполнены вычисления квазивязкости литосферы в Байкальской рифтовой зоне.

В течение 1997–2001 гг. под руководством Н.А. Логачева выполнялся один из первых в Сибирском отделении интеграционных проектов «Трехмерная геодинамическая модель Центральной Азии в кайнозое». В работе по проекту принимали участие сотрудники ИЗК СО РАН, ОИГГиМ СО РАН и других научных и производственных организаций. Результаты работы изложены в монографии «Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии», вышедшей в 2005 г., после смерти Н.А. Логачева. В этой книге комплексированы результаты геолого-геофизических исследований континентального рифтогенеза всей континентальной Азии.

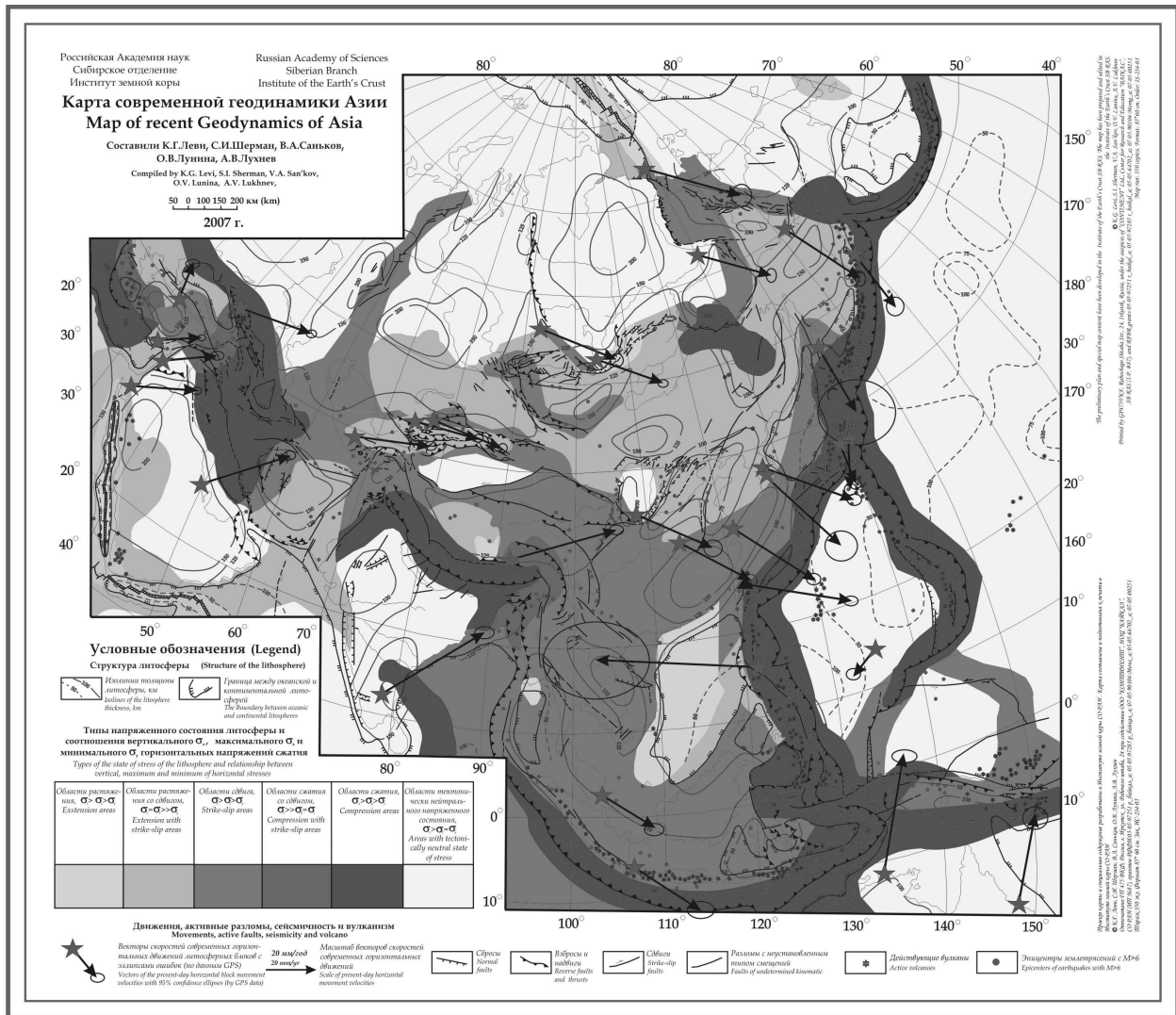


Рис. 7. Карта современной геодинамики Азии [Карта..., 2007].
Fig. 7. Map of recent geodynamics of Asia.

Тектонофизическое направление научной школы Н.А. Логачева продолжает развиваться и сегодня. Здесь уместно привести цитату из его послесловия как ответственного редактора уже упомянутых монографий «Разломообразование в литосфере»: «Возникает общая проблема изучения причин избирательной активизации разломов по отношению к определенным типам геологических структур и процессов в конкретное геологическое время» [Шерман и др., 1994, с. 246]. Потребовались многие годы, чтобы эта направленность школы Н.А. Логачева приблизилась к одному из своих логических завершений – созданию тектонофизической модели Байкальской сейсмической зоны, основанной на концепции избирательной активизации структур при рифтогенезе [Шерман, 2009].

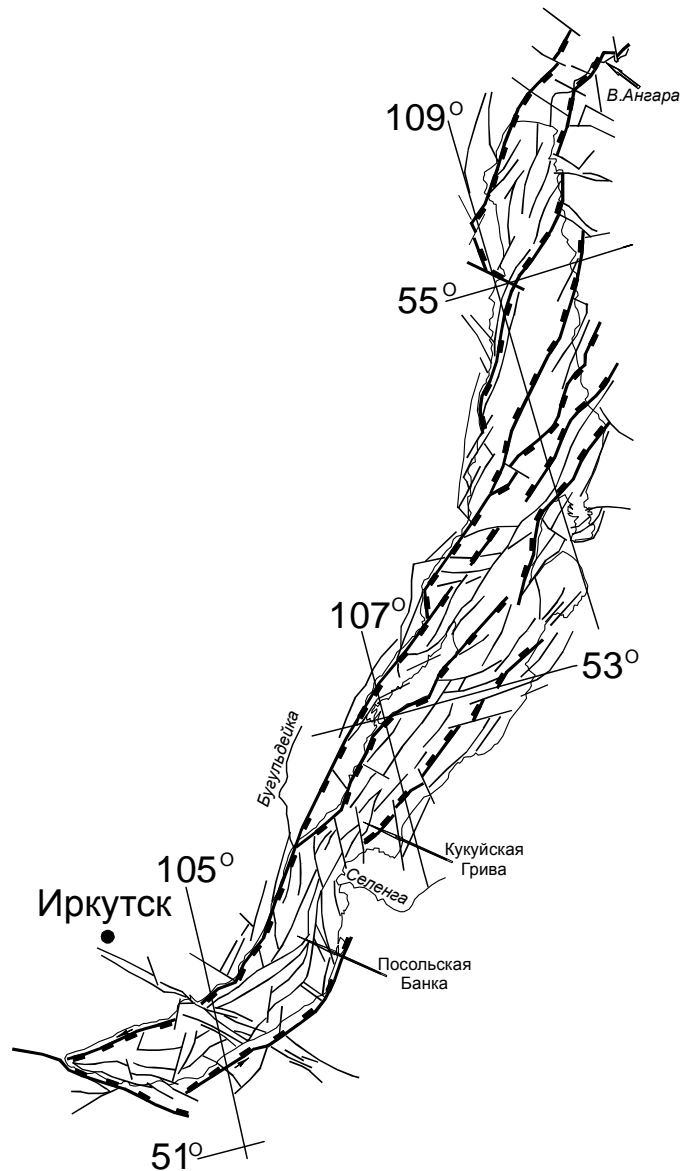


Рис. 8. Активные разломы Байкальской впадины [Леви и др., 1995; Levi et al., 1997].
Fig. 8. Active faults of the Baikal basin.

Опубликована «Карта неотектоники северо-восточного сектора Евразии» в масштабе 1:7500000 [Леви, 2008], работа над которой началась еще во второй половине 1970-х годов в рамках программы СО РАН по созданию комплекта тектонических карт на различные геотектонические эпохи для территории, подотчетной СО РАН. В 2009 г. К.Г. Леви завершен анализ основных геофизических параметров базальтового вулканизма в Байкальской рифтовой зоне, начатый еще в конце 80-х годов прошлого века. Показано, что вулканический процесс проявляется в строго ограниченных условиях напряженно-деформированного состояния земной коры и интенсивности разломообразования, что парагенетическая связь вулканического процесса с рифтогенезом является кажущейся из-за максимальной тектонической активности в позднем плиоцене, когда вулканотектонические структуры были переработаны неотектоническими структурами. В почти нетронутым виде сохранились две подобные структуры – кольцевые впадины Окинского плоскогорья и Тоджинской котловины.

В 1996 г. К.Г. Леви и Н.В. Задониной начато изучение современной геодинамики в рамках исторических хронологий Сибири, а затем в истории мировой цивилизации. В настоящее время в завершающей стадии находятся работы по созданию и интерпретации радиоуглеродных хронологий комплекса природных процессов в Северном полушарии [Задонина, Леви, 2008, 2009; Задонина и др., 2007]. Это первый опыт подобных исследований по созданию распределенной базы данных, объем которой достигает 40000 дат. Полученные в этой работе статистические закономерности развития природных процессов в рамках концепции глобальных природно-климатических изменений представляют собой некую первичную стандартную модель эволюции природной среды за прошедшие 50000 лет, с выявлением природных отклонений регионального плана.

При активном содействии Н.А. Логачева в 1994 г. в рамках российско-французского, а потом трехстороннего российско-французско-монгольского проектов были организованы исследования современных движений методом GPS-геодезии на Байкальском, Монгольском и Тувинском геодинамических полигонах. По результатам измерений впервые рассчитано поле скоростей современных движений для территории Монголо-Сибирского региона. Выявлены главные тренды горизонтальных смещений пунктов геодезической сети относительно стабильной Северной Евразии (рис. 9). Показано, что постепенное уменьшение скорости горизонтальных смещений с юго-запада по направлению к краю Сибирской платформы фиксирует активно протекающие сегодня процессы сжатия земной коры в Западной Монголии и Алтае-Саянской горной области, сопровождающиеся разломообразованием и сейсмичностью. При этом в Байкальском рифте преобладают современные процессы растяжения земной коры с относительно невысокими скоростями деформаций. В целом поле векторов горизонтальных движений отражает сочетание в пределах региона перемещения континентальных масс в северо-восточном направлении под воздействием сжатия из зоны Индо-Евразийской коллизии с выжиманием блоков западной части Монголии на восток, с одной стороны, и удаления Амурской плиты в юго-восточном направлении от стабильной Северной Евразии – с другой [Саньков и др., 2003].

На базе данных GPS-измерений впервые рассчитано поле современных горизонтальных деформаций для территории Южного Прибайкалья и Северной Монголии (рис. 10). Показано, что пространственное распределение преобладающих типов горизонтальных деформаций коры отвечает зональной смене условий растяжения, сдвига и сжатия в направлении северо-запад – юго-восток. Впадины и понижения в региональном рельефе соответствуют областям растяжения и сдвига. Области преобладающего укорочения земной коры пространственно тяготеют к поднятиям. Тип деформаций коррелирует с типом напряженного состояния земной коры по сейсмологическим данным [Лухнев и др., 2003].

Геологические исследования были ориентированы на выяснение природы феномена развития в пределах Байкальской рифтовой зоны, наряду со сбросами, разломов взбросо-надвигового типа, порожденных тангенциальным сжатием земной коры в направлении северо-восток – юго-запад [Ружич и др., 1972; Ружич, 1975]. По результатам многолетнего изучения режимов неотектонических и современных (установленных инструментальными методами) движений в зонах разломов рифтовой зоны сделан вывод о том, что парагенезис сбросов и взбросов обусловлен регулярным проявлением в рифтогенный этап чередования периодов сжатия в направлении северо-восток – юго-запад и растяжения в направлении северо-запад – юго-восток, инициируемых квазирегулярными колебательно-волновыми деформациями массивов горных пород [Ружич, 1978]. Природа последних разнообразна и обусловлена воздействием комплекса факторов – твердоприливными суточными деформациями, а

также параметрами ротационного режима Земли, гравитационным и электромагнитным взаимодействием системы Солнце–Луна–Земля, отражающимся в наблюдаемой квазипериодичности сейсмической активности.

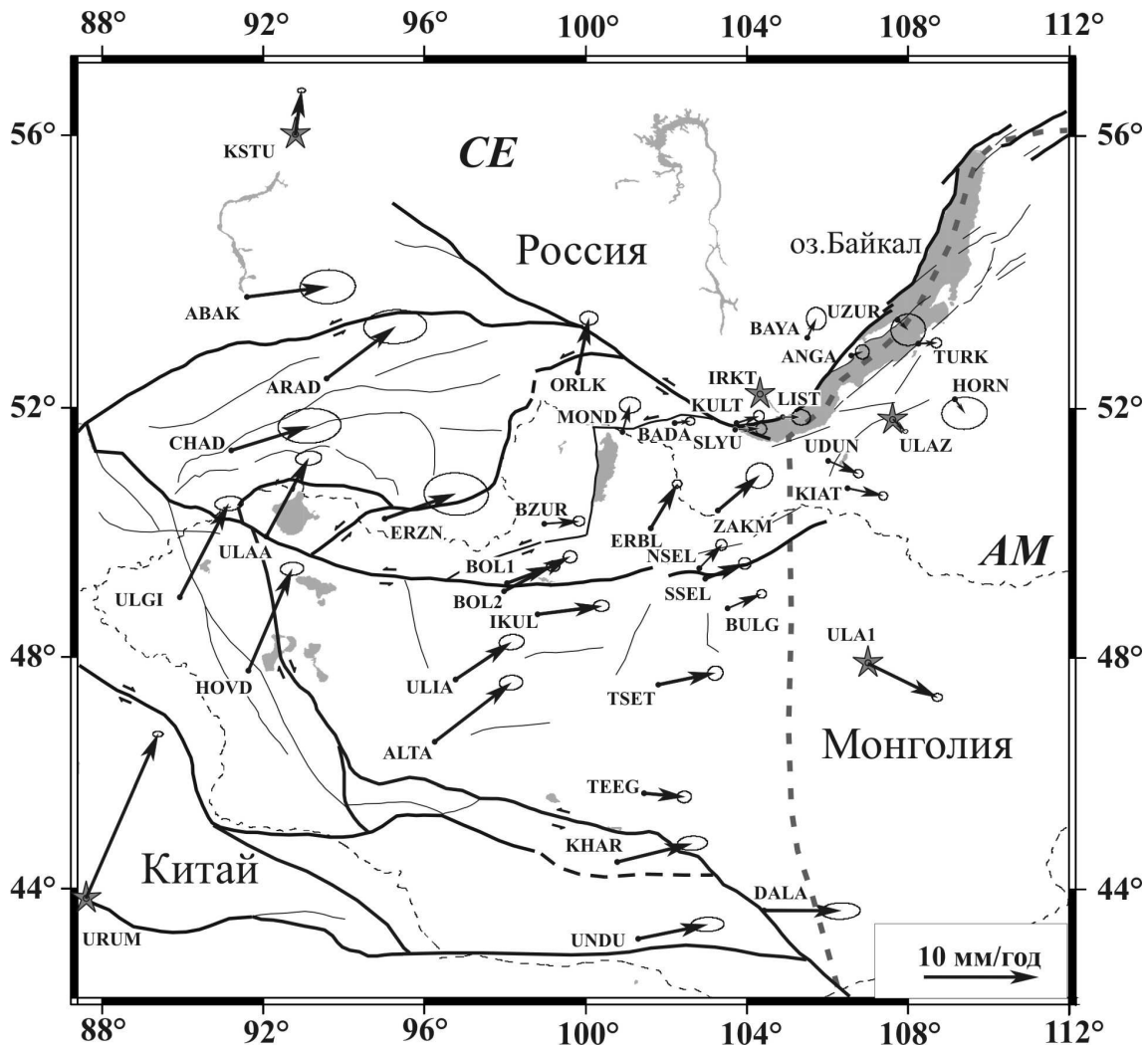


Рис. 9. Поле скоростей современных горизонтальных движений Монголо-Сибирского региона по данным измерений на Байкальском, Монгольском и Тувинском GPS-полигонах за 1994–2002 гг. Векторы скорости смещений пунктов относительно пункта ИРКТ (г. Иркутск) показаны с эллипсами 95 %-ного доверительного интервала. Рядом с пунктами наблюдений указаны четырехбуквенные аббревиатуры их названий и значения скорости движений в мм/год. Сплошными линиями показаны межблоковые разломы, тонкими линиями – внутриблоковые разломы, жирной пунктирной линией – граница Амурской плиты (АМ). Стрелками возле линий разломов показан знак сдвигового смещения. NA – стабильная Северная Евразия, Am – Амурская плита [Саньков и др., 2003].

Fig. 9. Present-day horizontal movements velocity field of Mongolia-Siberian region by data of measurements on Baikal, Mongolia and Tuva GPS testing areas for 1994–2002. Velocity vectors of sites relative to IRKT (Irkutsk)with 95 % of confidence ellipses are shown. The name abbreviations and velocity rate in mm/year are shown near the measurement sites. Interblock and intrablock faults are shown by solid thick lines and solid thin lines respectively. The Amur plate boundary is shown by breaking thick line. The types of horizontal motions along strike slip faults are shown by arrows. NA – stable North Eurasia, Am – Amur plate [Sankov et al., 2003].

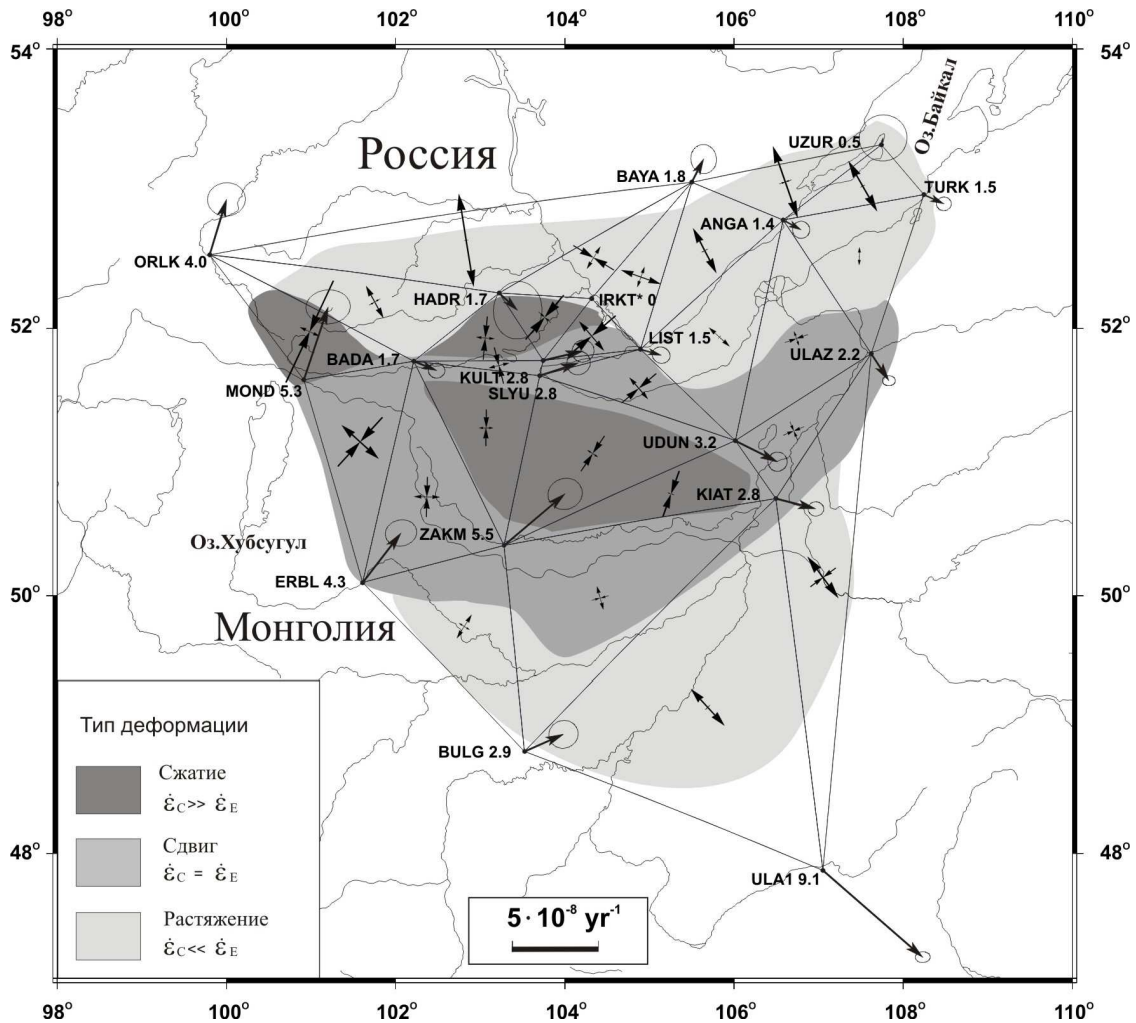


Рис. 10. Поле скоростей современных горизонтальных движений и деформаций южного обрамления Сибирской платформы по данным измерений на Байкальском и Монгольском GPS-полигонах за 1994–2001 гг. Векторы скорости смещений пунктов относительно ИРКТ показаны с эллипсами 95%-ного доверительного интервала. Рядом с пунктами наблюдений указаны аббревиатуры их названий и значения скорости движений в мм/год [Лухнев и др., 2003].

Fig. 10. Present-day horizontal movements and deformations velocity field of southern surroundings of Siberian platform by data of measurements on Baikal and Mongolia GPS testing areas for 1994–2001. Velocity vectors of sites relative to IRKT with 95 % of confidence ellipses are shown. The name abbreviations and velocity rate in mm/year are shown near the measurement sites [Lukhnev et al., 2003].

Для постоянно действующей выставки научных достижений СО РАН был представлен цветной рекламный проспект на русском и английском языках и видеофильм об измерительном комплексе «Сдвиг». Последний разработан и сконструирован для высокоточных измерений режима современных смещений в зонах разломов. Его применение в зонах рифтогенных разломов Прибайкалья позволило получить уникальную информацию о весьма сложном современном режиме деформаций сжатия и растяжения в зонах разломов и изучить механизмы инициации этих движений [Ружич и др., 1999].

В последние два десятилетия более углубленно рассмотрен ряд вопросов, связанных с изучением признаков и механизмов взаимодействия процессов

рифтогенеза в Прибайкалье с Индо-Евразийским коллизийным процессом [Ружич, 1997]. В результате новых подходов получены важные сведения, касающиеся выявления и изучения признаков подобного геодинамического взаимодействия с позиций физического моделирования на ледяном покрове оз. Байкал [Ружич и др., 2009], а также применения гистехнологий. Это позволило детально анализировать параметры миграции эпицентральных полей землетрясений, которые характеризуют физические пульсационные механизмы распространения периодически активизируемых фронтов сейсмотектонических деформаций из области коллизии в глубь Центрально-Азиатского сегмента Евразийской плиты с достижением сегментов Байкальской рифтовой зоны (рис. 11).

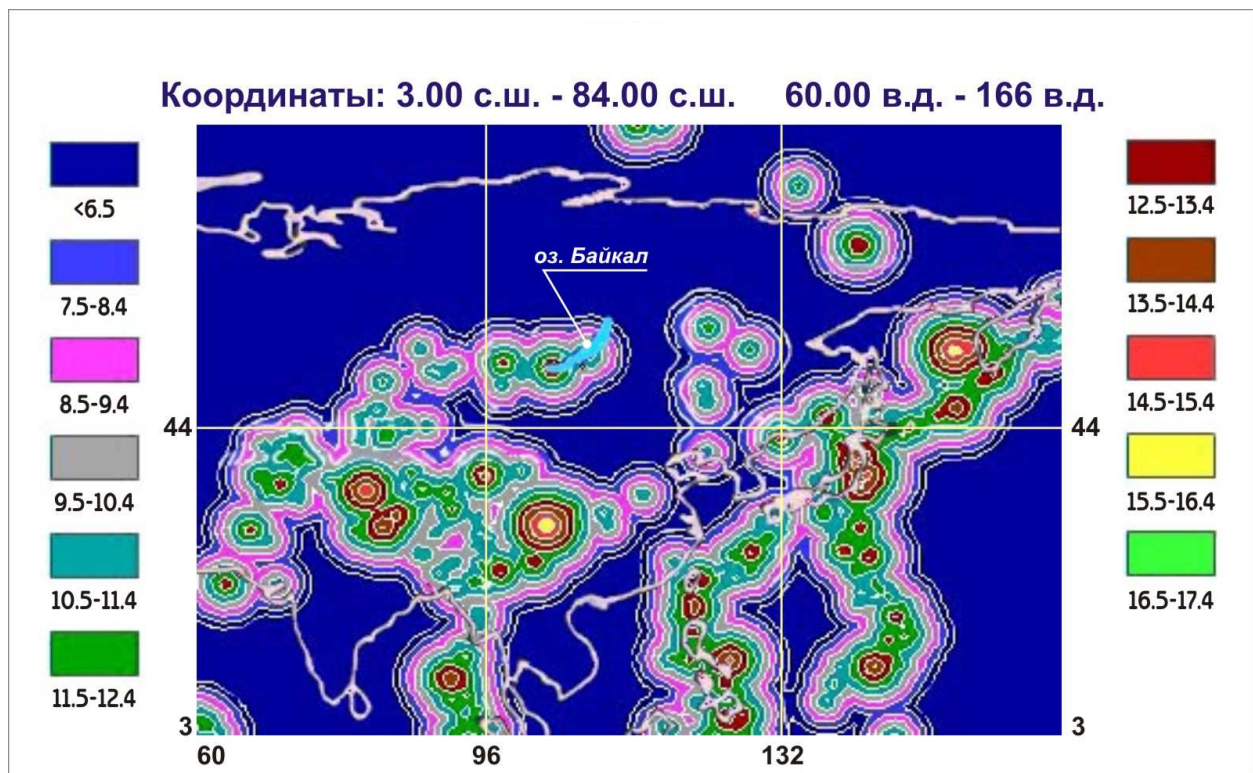


Рис. 11. Сейсмическая энергия, выделившаяся в 2008 г. в Индо-Евразийской коллизийной зоне и в западном сегменте Тихоокеанского сейсмического кольца и распространившаяся в глубь Центральной Азии. В изолиниях показано количество сейсмической энергии в значениях энергетических классов, нормированное на единицу площади (см. условные обозначения). Фронт распространения сейсмической энергии в периоды сейсмической активизации на границах плит может достигать области Байкальского рифта и таким образом инициировать прибайкальские землетрясения (например, Култукское землетрясение 28.08.2008 г., М – 6.3).

Fig. 11. Specific propagation of seismic energy, released in the Indo-Eurasian collision zone and in the western segment of the Pacific seismic ring, into Central Asia in 2008. Isolines show quantity of seismic energy in values of power classes normalized to an unit of an area (see legend). In a period of seismic reactivation at plate boundaries, a front of seismic energy propagates up to the Baikal rift and, therefore, initiate earthquakes in this area (for example, the Kultuk one, 28.08.2008, M – 6.3).

Полученные результаты позволяют более аргументированно объяснять значительное влияние коллизийных процессов в Альпийско-Гималайской зоне на

внутриплитные рифтогенные процессы, зарождение и развитие которых связано с местными мантийными процессами. Таким образом, находят подтверждение и развитие многие идеи академика Н.А. Логачева, в том числе о комбинированном механизме возникновения и геолого-структурного развития элементов Байкальской рифтовой зоны.

Список литературы

- Актуальные вопросы** современной геодинамики Центральной Азии / Отв. ред. К.Г. Леви, С.И. Шерман. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 297 с.
- Задонина Н.В., Леви К.Г.** Хронология природных и социальных феноменов в Сибири и Монголии. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2008. 759 с.
- Задонина Н.В., Леви К.Г.** Хронология природных и социальных феноменов в истории мировой цивилизации. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2009. 864 с.
- Задонина Н.В., Леви К.Г., Язев С.А.** Космические опасности геологического и исторического прошлого Земли. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. 77 с.
- Карта современной геодинамики Азии** / К.Г. Леви, С.И. Шерман, В.А. Саньков и др. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007.
- Леви К.Г.** Карта неотектоники северо-восточного сектора Азии. Иркутск: ГП «475 Военно-топографическая фабрика», 2008.
- Леви К.Г., Бабушкин С.М., Бадардинов А.А. и др.** Активная тектоника Байкальской впадины // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 10. С. 154–163.
- Логачев Н.А.** Вулканогенные и осадочные формации рифтовых зон Восточной Африки. М.: Наука, 1977. 183 с.
- Логачев Н.А.** История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 45. С. 391–406.
- Логачев Н.А., Борняков С.А., Шерман С.И.** О механизме формирования Байкальской рифтовой зоны по результатам физического моделирования // Доклады Академии наук. 2000. Т. 373, № 3. С. 388–390.
- Логачев Н.А., Брандт И.С., Рассказов С.В., Иванов А.В., Брандт С.Б., Конев А.А., Ильясова А.М.** Определение К–Аг возраста палеоценовой коры выветривания Прибайкалья // Доклады Академии наук. 2002. Т. 385, № 6. С. 797–799.
- Логачев Н.А., Рассказов С.В., Иванов А.В., Мишарина В.А., Черняева Г.П.** Стратиграфия верхнекайнозойской вулканогенно-осадочной толщи прибайкальской части Восточного Саяна // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1998. Т. 6, № 4. С. 81–91.
- Логачев Н.А., Шерман С.И., Леви К.Г.** Геодинамическая активность литосферы, ее интегральная оценка и связь с сейсмичностью // Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. М.: Наука, 1987а. С. 97–108.
- Логачев Н.А., Шерман С.И., Леви К.Г.** Геодинамическая активность литосферы Сибири в кайнозое // Геология и геофизика. 1987б. № 8. С. 3–10.
- Логачев Н.А., Шерман С.И., Леви К.Г., Трифонов В.Г.** Геодинамическая активность литосферы Азии: основы анализа и принципы картирования // Геодинамика и развитие тектоносферы: Труды тектонического совещания МТК. М.: Наука, 1991. С. 31–39.
- Лухнев А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Леви К.Г., Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г., Залуцкий В.Т., Кале Э., Девершер Ж., Верноль М., Бехтур Б., Амаржаргал Ш.** Новые данные о современных тектонических деформациях южного горного обрамления Сибирской платформы // Доклады Академии наук. 2003. Т. 389, № 1. С. 100–103.
- Николай Александрович Флоренсов** / Отв. ред. Н.А. Логачев. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 171 с.
- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Иванов А.В.** Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя (Южная Сибирь – Южная и Восточная Азия). Новосибирск: Наука, 2000. 288 с.

- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Иванов А.В.** Корреляция позднекайнозойских тектонических и магматических событий Байкальской рифтовой системы с событиями на юго-востоке Евразийской плиты // Геотектоника. 1998. № 4. С. 25–40.
- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Иванов А.В., Бовен А.А., Масловская М.Н., Саранина Е.В., Брандт И.С., Брандт С.Б.** Магматический эпизод Западного рифта Восточной Африки 19–17 млн лет назад // Геология и геофизика. 2003а. Т. 44, № 4. С. 317–324.
- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Иванов А.В., Мишарина В.А., Черняева Г.П., Брандт И.С., Брандт С.Б., Скобло В.М., Лямина Н.А.** Палинологический и диатомовый анализ осадков из позднекайнозойской долины пра-Амалата (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 5. С. 773–785.
- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Кожевников В.М., Яновская Т.Б.** Ярусная динамика верхней мантии Восточной Азии: соотношения мигрирующего вулканизма и низкоскоростных аномалий // Доклады Академии наук. 2003б. Т. 390, № 1. С. 90–95.
- Рогожина В.А., Кожевников В.М.** Область аномальной мантии под Байкальским рифтом. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 104 с.
- Ружич В.В.** Влияние древних разрывов на развитие новейших структур Байкальского рифта // Геология и геофизика. 1975. № 1. С. 130–136.
- Ружич В.В.** О сочетании напряжений растяжения и сжатия в Байкальском рифте // Тектоника и сейсмичность континентальных рифтовых зон. М.: Наука, 1978. С. 27–32.
- Ружич В.В.** Сейсмотектоническая деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 144 с.
- Ружич В.В., Псахье С.Г., Черных Е.Н., Борняков С.А., Гранин Н.Г.** Деформации и сейсмические явления в ледяном покрове озера Байкал // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 3. С. 289–299.
- Ружич В.В., Трусков В.А., Черных Е.Н., Смекалин О.П.** Современные движения в зонах разломов Прибайкалья и механизмы их инициирования // Геология и геофизика. 1999. Т. 40, № 3. С. 360–372.
- Ружич В.В., Шерман С.И., Тарасевич С.И.** Новые данные о надвигах в юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны // Доклады АН СССР. 1972. Т. 205, № 4. С. 920–924.
- Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Леви К.Г., Ашурков С.В., Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г., Кале Э., Девершер Ж., Верноль М., Бехтур Б., Амаржаргал Ш.** Современные движения земной коры Монголо-Сибирского региона по данным GPS-геодезии // Доклады Академии наук. 2003. Т. 392, № 6. С. 792–795.
- Флоренсов Н.А.** Мезозойские и кайнозойские впадины Прибайкалья. М.–Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 258 с.
- Шерман С.И.** Физические закономерности формирования разломов в земной коре. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 102 с.
- Шерман С.И.** Тектонофизическая модель сейсмической зоны: опыт разработки на примере Байкальской рифтовой системы // Физика Земли. 2009. № 11. С. 8–21.
- Шерман С.И., Леви К.Г.** Трансформные разломы Байкальской рифтовой зоны // Доклады АН СССР. 1977. Т. 233, № 2. С. 461–464.
- Шерман С.И., Медведев М.Е., Ружич В.В., Киселев А.И., Шмотов А.П.** Тектоника и вулканизм юго-западной части Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973. 136 с.
- Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Буддо В.Ю., Лобацкая Р.М., Адамович А.Н., Трусков В.А., Бабичев А.А.** Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига. Новосибирск: Наука, 1991. 261 с.
- Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н., Лобацкая Р.М., Лысак С.В., Леви К.Г.** Разломообразование в литосфере. Зоны растяжения. Новосибирск: Наука, 1992. 262 с.
- Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н., Буддо В.Ю.** Разломообразование в литосфере. Зоны сжатия. Новосибирск: Наука, 1994. 263 с.
- Gao S., Davis P.M., Liu H., Slack P.D., Zorin Y.A., Logatchev N.A., Kogan M., Burkholder P.D., Meyer R.P.** Asymmetric upwarp of the asthenosphere beneath the Baikal rift zone, Siberia // J. Geophys. Res. 1994. V. 99, № B8. P. 15,319–15,330.

- Klerkx J., Logatchev N.A., Ermikov V.D., Levi K.G.** The CASIMIR project: a joint research project on rift basin geology between Siberia and Belgium // Science policy: New mechanisms for scientific collaboration between East and West / V. Koptyug and J. Klerkx (eds) NATO ASI Series. Kluwer Academic Press, 1995. P. 117–125.
- Levi K.G., Miroschnichenko A.I., Sankov V.A., Babushkin S.M., Larkin G.V., Badardinov A.A., Wong H.K., Colman S., Delvaux D.** Active faults of the Baikal depression // Bull. Centres Rech. Explor.–Prod. Elf. Aquitaine. 1997. V. 21, N 2. P. 399–434.
- Logatchev N.A.** History and geodynamics of the lake Baikal rift in the context of the Eastern Siberia rift system: a review // Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf. Aquitaine. 1993. V. 17, № 2. P. 353–370.
- Logatchev N.A., Florensov N.A.** The Baikal system of rift valleys // Tectonophysics. 1978. V. 45, № 1–2. P. 1–15.
- Logatchev N.A., Zorin Yu.A.** Evidence and causes of the two stage development of the Baikal rift // Tectonophysics. 1987. V. 143, № 1–3. P. 225–234.
- Logatchev N.A., Zorin Yu.A.** Baikal rift zone: structure and geodynamics // Tectonophysics. 1992. V. 208. P. 273–286.
- Logatchev N.A., Zorin Yu. A., Rogozhina V.A.** Baikal rift: Active or passive? – Comparison of the Baikal and Kenya rift zones // Tectonophysics. 1983. V. 94, № 1–4. P. 223–240.
- Yanovskaya T.B., Kozhevnikov V.M.** 3D S-wave velocity pattern in the upper mantle beneath the continent of Asia from Rayleigh wave data // Phys. Earth and Planet. Inter. 2003. V. 138. P. 263–278.
- Zamarayev S.M., Ruzhich V.V.** On relationships between the Baikal rift and ancient structures // Tectonophysics. 1978. V. 45, № 1. P. 41–47.

**ACADEMICIAN N.A. LOGATCHEV AND HIS SCIENTIFIC SCHOOL:
CONTRIBUTION TO STUDY OF CENOZOIC CONTINENTAL RIFTS**

S.V. Rasskazov, S.I. Sherman, K.G. Levi, V.V. Ruzhich, V.M. Kozhevnikov, V.A. Sankov
Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia

Fundamental knowledge on structure and development of the Baikal system of rift basins was obtained in 1950–1970-th under leading role of Florensov and Logatchev. Later on, at a boundary of the XX and XXI centuries, a breakthrough in understanding continental rifting in Eurasia, Africa, and North America was provided by application of new techniques and processing of large files of geological and geophysical information. These qualitatively new data put forward a problem on creation of an integrated model for Cenozoic rift development from the very beginning to the present state. Solution of the problem was realized within the framework of a scientific school "Cenozoic continental rifting" under leadership of Logatchev. In the school, supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant N 00-15-98574), five main directions were developed: studies of volcanogenic and sedimentary formations in rifts of Asia and East Africa, tectonophysical studies of the Baikal rift zone, studies of present-day motions by methods of GPS-geodesy in the Baikal and Mongolian geodynamic regions, geological studies, and geophysical studies in Pribaikal and Transbaikal.