



<http://dx.doi.org/10.5800/GT-2014-5-1-0122>

RECENT GEODYNAMICS OF INTRACONTINENTAL AREAS: INSTRUMENTAL AND GEOMORPHOLOGICAL ASSESSMENT OF CRUSTAL MOVEMENTS AND DEFORMATION IN CENTRAL ASIA

V. A. Sankov

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

Abstract: Studies of recent geodynamics have been conducted by the Institute of the Earth's Crust, SB RAS since 1998. Present-day crustal deformations are monitored at the geodynamic GPS polygon established by the Laboratory of Recent Geodynamics in the Mongol-Baikal region. Original methods and techniques using specialized equipment are applied to research intra-continental tectonic deformation and have already provided original scientific results. Independent data are received concerning the onset and character of processes of neotectonic activation and the state of stresses and deformation of the crust in the southern part of Siberia and in Mongolia. A model of the Late Cenozoic and contemporary geodynamics of the Mongol-Siberian mobile area is proposed. With application of GPS geodesy methods, quantitative parameters of present-day horizontal movements and deformations are determined for Central Asia and a part of the Far East at different scale levels. Present-day velocities of extension of the Baikal rift are estimated, and parameters of rotation of the Amur plate relative to Eurasia are calculated. Data on long-term and contemporary deformation are subject to comparative analyses. The Laboratory develops studies of present-day and historical seismicity in relation to processes of contemporary faulting in active tectonic zones of inter-plate boundaries and diffusive activation of subactive intraplate territories. The first results are obtained in studies of local crustal deformation by methods of satellite radar interferometry and ground polygonometry. Jointly with other institutes of SB RAS, the Laboratory conducts instrumental studies of interaction between the lithosphere and the ionosphere. Looking further ahead, the main scientific fields and prospects of the Laboratory are highlighted.

Key words: recent geodynamics, present-day movements, satellite geodesy, active faults, state of stresses, deformation, seismicity, interaction between the lithosphere and the ionosphere, Central Asia.

Citation: Sankov V.A. 2014. Recent geodynamics of intracontinental areas: instrumental and geomorphological assessment of crustal movements and deformation in Central Asia. *Geodynamics & Tectonophysics* 5 (1), 159–182. doi:10.5800/GT-2014-5-1-0122.

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ: ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

В. А. Саньков

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Аннотация: Исследования в области современной геодинамики в ИЗК СО РАН проводит лаборатория с одноименным названием, организованная в 1998 г. Коллективом лаборатории создан обширный Монголо-Байкальский геодинамический GPS-полигон для исследований современных деформаций земной коры, он обладает оригинальным набором методов и подходов, а также оборудования для исследований процессов внутриконтинентальных тектонических деформаций. За последние годы в направлении исследований получен ряд оригинальных научных результатов. Получены независимые данные о начале и характере протекания процессов неотектонической активизации, напря-

женно-деформированном состоянии земной коры на юге Сибири и в Монголии. Предложена модель позднекайнозойской и современной геодинамики Монголо-Сибирской подвижной области. Методами GPS-геодезии количественно охарактеризованы современные горизонтальные движения и деформации Центральной Азии и части Дальнего Востока на разных масштабных уровнях. Оценены современные скорости раздвижения Байкальского рифта, рассчитаны параметры вращения Амурской плиты относительно Евразии. Выполнен сопоставительный анализ данных долговременных и современных деформаций. В лаборатории проводятся исследования современной и исторической сейсмичности в связи с процессами современного разломобразования в активных тектонических зонах межплитных границ и диффузной активизации слабоактивных внутриплитных территорий. Получены первые результаты исследований локальных деформаций земной поверхности с использованием методов спутниковой радарной интерферометрии и наземной полигонометрии. В кооперации с другими научными подразделениями СО РАН проводятся инструментальные исследования взаимодействий литосферы и ионосферы. В статье охарактеризованы основные направления и перспективы развития исследований лаборатории на ближайшие годы.

Ключевые слова: современная геодинамика, современные движения, спутниковая геодезия, активные разломы, напряженно-деформированное состояние, сейсмичность, литосферно-ионосферные взаимодействия, Центральная Азия.

1. ВВЕДЕНИЕ

Современная геодинамика, как научное направление, во всем мире базируется на инструментальных и количественных методах исследований. Она активно ассимилирует данные из смежных отраслей знаний (геология, геофизика, метеорология и др.). Базовыми же для современной геодинамики являются методы исследований движений и деформаций земной коры, среди которых основное место занимают методы спутниковой и наземной геодезии, деформометрии и радарной интерферометрии, которые позволяют исследовать широкий пространственно-временной спектр деформаций. На данных этих методов, вместе с использованием индикаторов долговременных движений, получаемых с использованием геолого-геоморфологических методов исследований, осуществляются вероятностные оценки опасности неблагоприятных природных процессов. В качестве прямых и косвенных показателей динамики деформаций широко используются сейсмичность, геофизические поля, уровень подземных вод, газовые эманации. Наименее изучены современные геодинамические процессы и их влияние на формирование природных опасностей во внутриконтинентальных областях, что объясняется невысокими скоростями тектонических движений по сравнению с областями вблизи границ литосферных плит. Остро стоит вопрос о соотношении долговременной и современной составляющих движений по крупным внутриконтинентальным активным разломам в связи с неравномерностью процесса реализации накопленной упругой энергии и взаимодействием структур.

Лаборатория современной геодинамики ИЗК СО РАН (рис. 1) уже в течение 15 лет проводит исследования по обозначенному кругу вопросов. Ее созданию предшествовала организация в 1992 г. кабинета сейсмогеодинамики под руководством д.г.-м.н. К.Г. Леви, в рамках которого проводилось изучение закономерностей изменений, происходящих в литосфере вслед-

ствие развития сейсмического процесса. После реструктуризации института в 1996 г. кабинет сейсмогеодинамики вошел в лабораторию сейсмогеологии и сейсмогеодинамики. В связи с аккредитацией Института в 1998 г. и уточнением его основных научных направлений, группа сейсмогеодинамики была преобразована в лабораторию современной геодинамики, которую до 2008 г. возглавлял д.г.-м.н. К.Г. Леви. Основная цель исследований лаборатории – выявление закономерностей современных геодинамических процессов как результата взаимодействия геосфер и проявлений солнечной активности для разработки основ среднесрочного прогноза экстремальных (катастрофических) явлений. За период 1998–2008 гг. коллективом лаборатории при участии В.А. Санькова, А.И. Мирошниченко, А.В. Лухнева, С.В. Ашуркова заложены основы геодезической сети обширного Монголо-Байкальского геодинамического полигона для проведения исследования современных движений и деформаций методом GPS-геодезии, получены новые данные о современных деформациях земной поверхности исследуемой территории. Благодаря усилиям К.Г. Леви и Н.В. Задониной, создана мировая база данных, характеризующая временные вариации опасных природных процессов за 500 прошедших лет. Выполнен статистический анализ временных вариаций проявления сейсмичности, вулканизма и экзогенных гравитационных процессов. Проведены исследования эволюции напряженно-деформированного состояния земной коры Байкальской рифтовой системы (работы А.В. Парфеевца, В.А. Санькова). Для территории Алтае-Саянской горной области, Монголии и Прихубсугулья получены новые данные о кинематике активных разломов (С.Г. Аржанников, А.В. Аржанникова, А.И. Мирошниченко, А.В. Парфеевца, В.А. Саньков), выявлены многочисленные следы палеогидрокатастроф (С.Г. Аржанников, А.В. Аржанникова). Теоретические разработки [Леви и др., 2009; Саньков и др., 2012] позволили определить место современной геодинамики в цик-



Рис. 1. Коллектив лаборатории современной геодинамики.

Первый ряд: к.г.-м.н. С.Г. Аржанников, к.г.-м.н. А.В. Аржанникова, к.г.-м.н. В.А. Саньков – зав. лабораторией, к.г.-м.н. А.И. Мирошниченко, к.г.-м.н. А.В. Лухнев. Второй ряд: Л.Е. Гофман, к.г.-м.н. Я.Б. Радзиминович, к.г.-м.н. О.Ф. Лухнева, к.г.-м.н. А.В. Парфеев, к.г.-м.н. А.В. Новопашина, Л.М. Бызов, А.В. Саньков. Третий ряд: Е.А. Кузьмина, Т.В. Лешкевич, Ф.Л. Зуев, к.г.-м.н. С.В. Ашурков.

Fig. 1. Staff of Laboratory of Recent Geodynamics.

1st row – S.G. Arzhannikov, A.V. Arzhannikova, V.A. San'kov (Head of the Laboratory), A.I. Miroshnichenko, A.V. Lukhnev. 2nd row – L.E. Gofman, Ya.B. Radziminovich, O.F. Lukhneva, A.V. Parfeevets, A.V. Novopashina, L.M. Byzov, A.V. San'kov. 3rd row – E.A. Kuzmina, T.V. Leshkevich, F.L. Zuev, S.V. Ashurkov.

ле наук о Земле, а также выделить особую отрасль, специализирующуюся на изучении связей природных процессов на Земле с солнечной активностью, – гелиогеодинамику. Успешной работе коллектива способствовали обширные международные связи с учеными из Франции, Бельгии, Германии, Монголии. В исследовании активно вовлекалась молодежь, чему способствовало создание совместной кафедры современной геодинамики на базе ИЗК СО РАН и ИрГТУ.

В настоящее время работы лаборатории выполняются в рамках бюджетного проекта «Современная геодинамика внутриконтинентальных областей: инструментальные и геолого-геоморфологические оценки движений и деформаций земной поверхности как основа изучения опасных природных процессов (на примере Центральной Азии)» (научный руководитель к.г.-м.н. В.А. Саньков), который является частью программы «Тектонофизика современных геодинамических

процессов как основа прогноза природных катастроф во внутриконтинентальных условиях» (координаторы д.г.-м.н. Г.И. Татьков, д.г. м.н. К.Г. Леви) по приоритетному направлению СО РАН «Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы, включая экстремальные изменения космической погоды: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий».

Цели и предполагаемые результаты исследований – выявление закономерностей современных внутриконтинентальных деформаций на разных пространственных и временных масштабных уровнях, взаимосвязей процессов в литосфере и других геосферах для разработки моделей современной геодинамики и основ прогноза опасных геологических процессов. В результате проведения работ в 2009–2013 гг. получены новые знания о развитии позднекайнозойских и современных тектонических процессов, соотношениях

между деформациями земной поверхности, сейсмичностью и другими опасными процессами в пределах Центральной Азии, построены кинематические и динамические модели отдельных ее регионов и структур.

2. ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ МЕДЛЕННЫХ И БЫСТРЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В РЕЛЬЕФЕ И ПРОЯВЛЕНИЙ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ МОНГОЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

В рамках исследований по этому блоку осуществляется количественная оценка тектонических движений, запечатленных в рельефе, что связано с необходимостью датирования форм рельефа, деформаций в разрезе и коррелятивных отложений. Другим способом оценки скоростей вертикальных движений является применение метода трекового датирования по апатиту, который позволяет реконструировать термальную историю апатитсодержащих пород, выведенных на поверхность в результате тектонических и эрозионных процессов. Используются также методы датирования поверхностей по космогенному изотопу ^{10}Be . На базе геолого-геоморфологических методов определяются возраст и динамика формирования рельефа различных неотектонических структур Монголо-Сибирского региона, степень унаследованности тектонических движений на современном этапе, скорости движений по активным разломам.

Получение информации о начале процессов неотектонического поднятия территории важно с точки зрения определения последовательности воздействия тектонических сил на литосферу исследуемого региона и их эволюции. Нами в ходе совместных исследований с французскими учеными с применением методов трекового анализа по апатитам получены новые данные о динамике вертикальных движений в центральной части Байкальского рифта [Jolivet et al., 2009] вдоль СЗ-ЮВ профиля от Сибирской платформы до Баргузинского хребта. Наши результаты показывают, что Байкало-Патомское поднятие начало воздыматься в раннем карбоне, а затем активизировалось в средней юре – раннем мелу во время коллизии и орогенного коллапса в Монголо-Охотском поясе. Образцы, собранные на Сибирской платформе, указывают на непрерывную седиментацию вплоть до раннего карбона, после чего происходило их медленное остывание при приближении к земной поверхности, не связанное с более поздними тектоническими эпизодами. Показано, что Баргузинский хребет начал подниматься уже в позднем мелу, что предполагает продолжение деформаций от мелового посторогенного коллапса в южном обрамлении Сибирской платформы к кайнозойскому растяжению в Байкальском рифте (рис. 2, а). Таким образом, на инициальной стадии внутриконтинентальные деформации не зависели от процесса Индо-Азиатской коллизии. Усиление скорости поднятия с

0.03 мм/год в олигоцене – миоцене до 0.40–0.45 мм/год в позднем миоцене – раннем плиоцене (рис. 2, б) связывается с возможным воздействием коллизионных процессов.

Датированы этапы формирования рельефа Восточного Саяна, который является ключевым районом для понимания взаимодействия транспрессивных деформаций, обусловленных удаленным воздействием Индо-Азиатской коллизии, с деформациями растяжения, связанными с раскрытием Байкальской рифтовой системы [Аржанникова и др., 2011; Jolivet et al., 2011]. На основе результатов применения термохронологического метода трекового датирования апатитов, метода датирования по космогенному изотопу ^{10}Be , тектонического анализа и изучения морфологии неогеновых лавовых потоков сделан вывод о том, что в доолигоценое время территория Восточного Саяна представляла собой обширную, постоянно обновляющуюся эрозионную поверхность. Термальное моделирование показало, что эта поверхность начала формироваться как минимум в поздней юре – раннем мелу (140–120 млн лет) (рис. 3). Скорость долговременной эксгумации, вычисленная с помощью трекового анализа (17.5 м/млн лет), и скорость, рассчитанная за кратковременный период эрозии с использованием космогенного ^{10}Be (12–20 м/млн лет), согласуются между собой, что означает постоянную скорость эрозии начиная с поздней юры [Аржанникова и др., 2011; Jolivet et al., 2011]. Эта постоянная медленная эрозия препятствовала формированию латерит-каолининовой коры выветривания на поверхности выравнивания. В олигоцен-раннемиоценовое время произошло сводообразное поднятие региона, вызвавшее формирование неглубоких эрозионных долин, впоследствии заполнившихся базальтовыми лавовыми потоками. И, наконец, в плиоцене началась наиболее активная фаза тектонических движений, приведшая к формированию отдельных высокогорных хребтов.

3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ РАЗНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЕЙ В СТАБИЛЬНЫХ И ПОДВИЖНЫХ ОБЛАСТЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Основными методами инструментальных исследований современных деформаций, используемыми в лаборатории, являются спутниковая геодезия (GPS/ГЛОНАСС технология), радарная (РСА) интерферометрия, наземная геодезия. Современная точность измерений указанными методами позволит исследовать как быстрые (сейсмогенные и экзогенные), так и медленные (тектонические) деформации. Исходя из идеи о том, что позднекайнозойские деформации в Байкальской рифтовой системе связаны с взаимодействием Евразийской и Амурской плит [Шерман, Леви, 1977; Zonenshain, Savostin, 1981], можно полагать, что

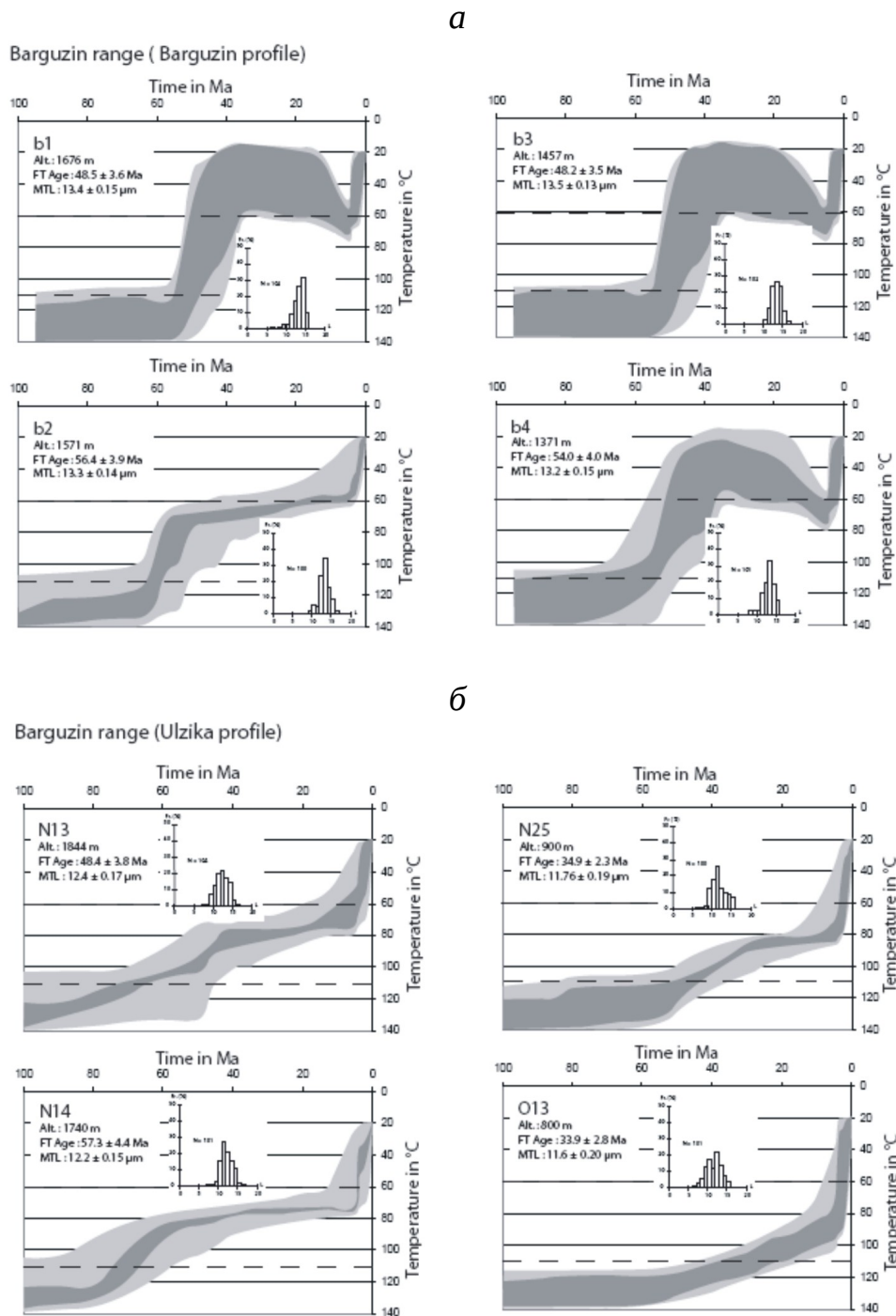


Рис. 2. Результаты моделирования длины апатитовых треков для образцов по профилям вкост Баргузинского разлома [Jolivet *et al.*, 2009]: *a* – профиль вблизи п. Баргузин (южная кулиса Баргузинского разлома); *б* – профиль в районе долины р. Улзика (центральная кулиса Баргузинского разлома).

Alt. – высота, FT – возраст апатитовых треков, MTL – средняя измеренная длина треков. Темно-серым показаны возможные области положения кривой температура–время в интервале ошибки 1σ вдоль осредняющей кривой, светло-серым показано то же, но в интервале 2σ . Гистограммы длины треков показаны для каждого образца. L – длина треков в μm , Fr. (%) – частота встречаемости в %, N – общее число измеренных треков.

Fig. 2. Model lengths of apatite fission tracks for samples taken at profiles across the Barguzin basin [Jolivet *et al.*, 2009]: *a* – profile near Barguzin settlement (southern wing of the Barguzin fault); *б* – profile near the Ulzika river valley (central wing of the Barguzin fault).

Alt. – altitude; FT – age of apatite fission tracks; MTL – average measured length of fission tracks. Inferred areas of location of the temperature–time curve are shown in dark grey in the error range of 1σ along the averaging curve and in light grey in the error range of 2σ . Histograms of track lengths are shown for each sample. L – fission track length (μm); Fr. (%) – frequency of occurrence (%); N – total number of measured fission tracks.

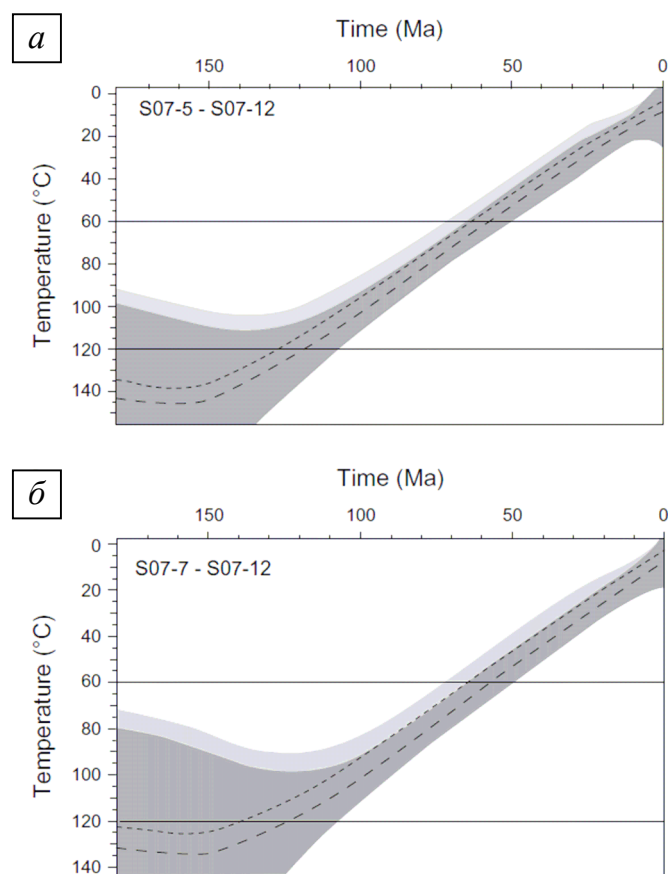


Рис. 3. Интегральная термальная модель для профиля через хребет Кропоткина (Восточный Саян) по данным трекового анализа апатитов [Jolivet et al., 2013].

a – модель, включающая образцы S07-5, S07-7, S07-8 and S07-12. Светло-серое поле соответствует 95%-ному доверительному интервалу для термальной истории верхнего образца (S07-5), а темно-серое поле соответствует 95%-ному доверительному интервалу для термальной истории нижнего образца (S07-12). Верхняя пунктирная линия соответствует средней из всех моделей для верхнего образца. Нижняя пунктирная линия соответствует средней из всех моделей для нижнего образца; *б* – подобные модели, построенные с исключением образца S07-5.

Fig. 3. An integral thermal model for the profile across the Kropotkin ridge (East Sayan) according to apatite fission track analyses [Jolivet et al., 2013].

a – model including Samples S07-5, S07-7, S07-8 and S07-12. Light grey and dark grey – 95% confidence intervals for the thermal history of Sample S07-5 (top) and Sample S07-12 (bottom), respectively. The upper and lower dotted lines correspond to the models that are in the middle among others for the top and bottom samples, respectively; *b* – Similar models constructed upon exclusion of Sample S07-5.

получение данных о параметрах относительного вращения этих плит позволит прогнозировать характеристики современных деформаций на их границе. Основой таких расчетов являются измерения с использованием метода GPS-геодезии на обширных пространствах, как на границах, так и во внутренних частях литосферных плит [Быков и др., 2009; Саньков и др., 2009; Лухнев и др., 2010, 2013; Ашурков и др., 2011; и др.]. По результатам GPS-измерений за период 2001–2007 гг. на Амуро-Зейском геодинамическом полигоне, расположенном на территории Амурской области, нами впервые было получено поле скоростей современных горизонтальных движений земной коры для этого района [Ашурков и др., 2011] (рис. 4). На его основе с привлечением дополнительных данных рассчитаны

параметры относительного вращения Евразийской (EU) и Амурской (AM) плит. Полнос их относительного вращения имеет координаты 122.285° в.д., 58.950° с.ш. и угловую скорость вращения 0.095 град./млн лет. Полученная кинематическая модель описывает движение Евразийской и Амурской плит как независимых тектонических единиц. Статистический анализ показал, что данная гипотеза верна на 99%-ном доверительном уровне. Расчеты также показали, что восточная граница Амурской плиты проходит по одной из ветвей системы разломов Тан-Лу. Полученная кинематическая модель для Евразийской и Амурской плит находится в хорошем согласии с данными о современном напряженном состоянии и подвижках по сейсмоактивным разломам межплитной границы (рис. 5).



Рис. 4. Скорости современных горизонтальных смещений земной коры относительно Евразии [Ашурков и др., 2011].

В квадратах обозначены GPS-пункты, использованные для определения параметров вращения по модели ITRF2005–EU. Эллипсы обозначают ошибки измерений в 95%-ном доверительном интервале. Черной линией показаны межплитные границы по модели NUVEL-1A.

Fig. 4. Velocities of recent horizontal displacements of the crust relative to Eurasia [Ашурков и др., 2011].

GPS-points used to determine the rotation parameters according to model ITRF2005-EU, are marked in squares. Ellipses indicate the measurement error of 95% confidence interval. Black line shows the interplate boundaries according to model NUVEL-1A.

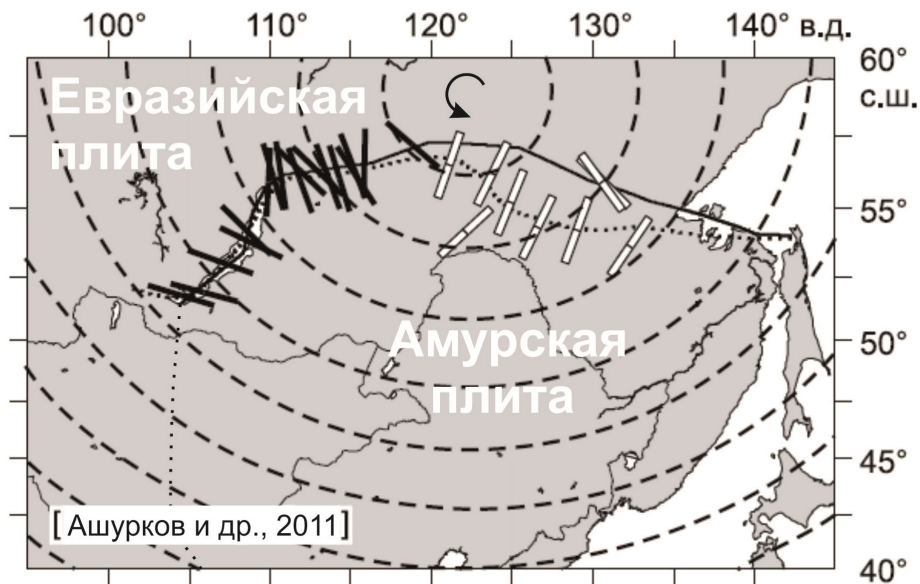


Рис. 5. Сопоставление векторов подвижек в очагах землетрясений с моделями вращения Амурской плиты относительно Евразийской (по [Ашурков и др., 2011] с дополнениями).

Штриховыми линиями показаны малые круги с центром в рассчитанном полюсе вращения. Черными отрезками показаны векторы подвижек для Байкальской рифтовой системы [Petit et al., 1996], белыми указаны векторы подвижек для Олекмо-Становой и Тукурингро-Джагдинской сейсмических зон [Парфенов и др., 1987].

Fig. 5. Comparison of displacement vectors in earthquake foci and data from models showing rotation of the Amur plate relative to the Eurasian plate (according to [Ашурков и др., 2011], with additional data).

Hatches show small circles with the centre at the calculated pole of rotation. Vectors of displacement are shown by black lines for the Baikal rift system [Petit et al., 1996] and white lines for the Olyokma-Stanovoy and Tukuringro-Dzhagdinskaya seismic zones [Парфенов и др., 1987].

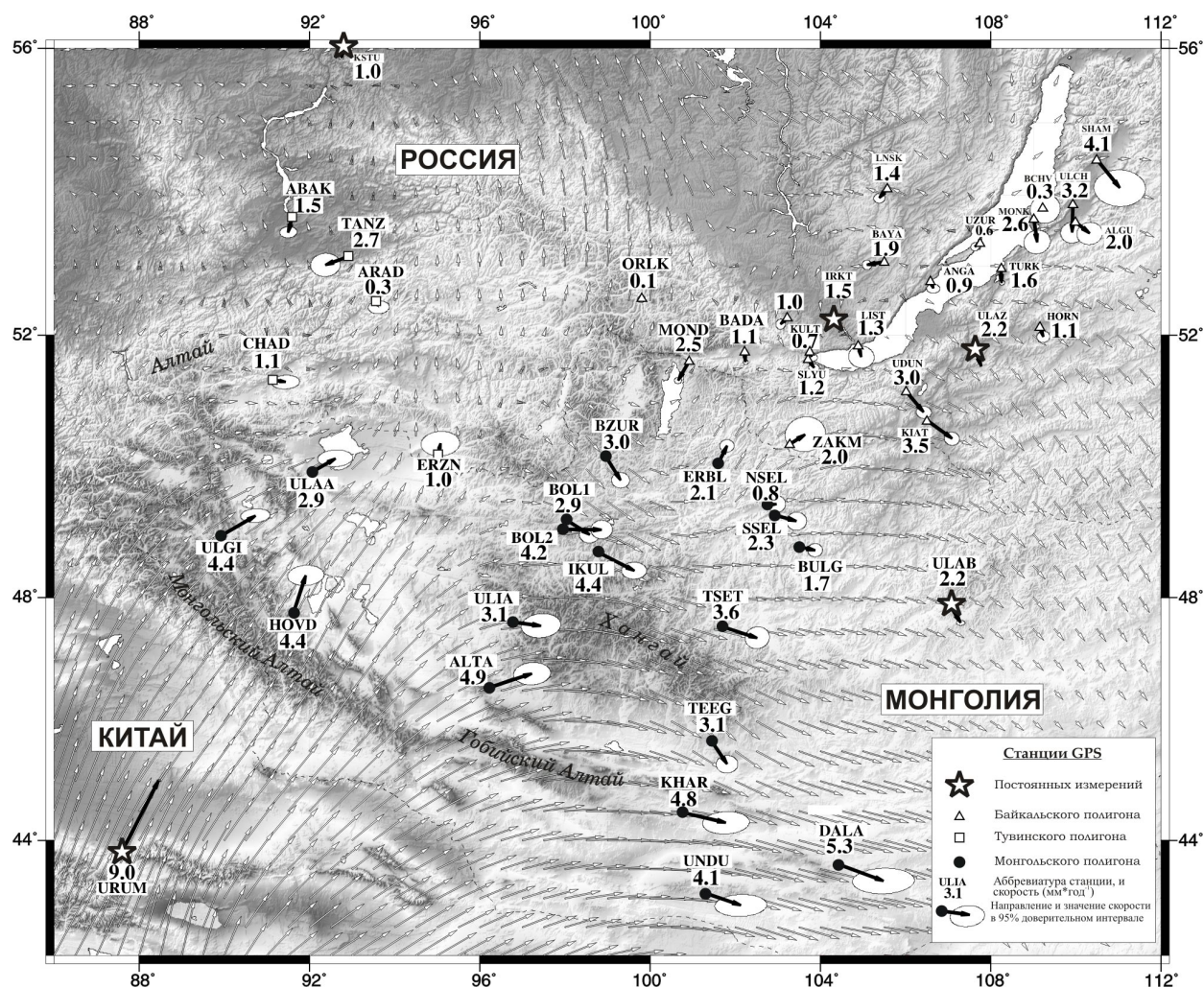


Рис. 6. Скорости современных горизонтальных движений Монголо-Байкальского региона по данным GPS-измерений 1994–2007 гг. относительно Евразийской плиты в 95%-ном доверительном интервале [Лухнев и др., 2010].

Белые стрелки – средние скорости на равномерной сетке 30'×30'.

Fig. 6. Rate of present-day horizontal movements of Mongolia-Baikal region according to GPS-measurement data for the period from 1994 to 2007 (relative to the Eurasian plate, 95% confidence interval) [Лухнев и др., 2010].

White arrows show average velocities for the regular grid of 30'×30'.

Позднекайнозойское горообразование и современная тектоническая активность Центральной Азии во многом связаны с процессами коллизии и продолжающейся конвергенции Индостана и Евразии. На основе данных многолетних измерений методом GPS-геодезии сети Монголо-Байкальского геодинамического полигона за 1994–2007 гг. рассчитано поле скоростей горизонтальных смещений, деформаций и вращений земной поверхности в периферийной части зоны коллизионного взаимодействия [Лухнев и др., 2010]. Установлено, что северо-восточное направление движения пунктов полигона, наблюдаемое на большей части исследуемой территории, меняется на широтное в Центральной Монголии и юго-восточное в районах Забайкалья, причем скорость пунктов увеличивается на юго-восток от Байкальского рифта, а их направле-

ния сохраняются. Несмотря на отсутствие сейсмологических и геологических данных о наличии границы между Евразийской и Амурской плитами на ее западном участке (территория Монголии), изменение направлений и скоростей GPS-пунктов, наличие совокупности доменов с разнонаправленным вращением подтверждают ее существование. Результаты GPS-измерений позволяют установить перемещение Амурской тектонической плиты в юго-восточном направлении со скоростью порядка 2 мм/год. Частично эти движения отражают дополнительное выжимание Амурской плиты в результате коллизионных процессов между Индостаном и Евразийской плитой (рис. 6).

Анализ относительных деформаций позволяет выделить участки с преимущественным укорочением, удлинением земной поверхности и переходные зоны

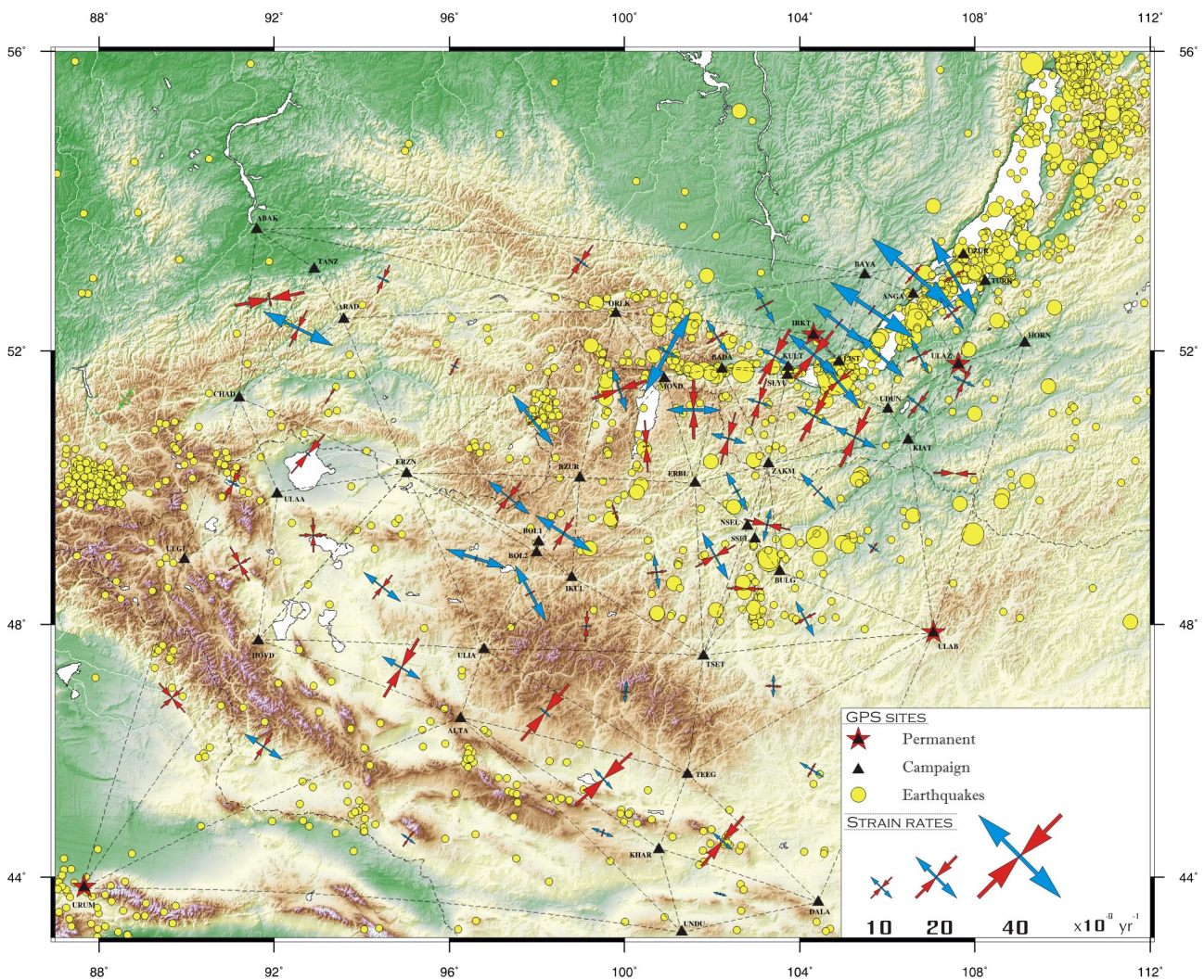


Рис. 7. Поле скоростей относительных горизонтальных деформаций Монголо-Байкальского региона по данным GPS-измерений 1994–2007 гг. [Лухнев и др., 2010].

Красные стрелки – оси укорочения; синие стрелки – оси удлинения.

Fig. 7. The field of horizontal deformation velocities according to GPS-measurement data on Mongolia-Baikal region for the period from 1994 to 2007 [Лухнев и др., 2010].

Red arrows show shortening axes; blue arrows show elongation axes.

между ними (рис. 7). Участки преимущественного укорочения СВ простирания выявлены в районах Гобийского и Монгольского Алтая, а также в районе Хамар-Дабанского поднятия. Участки преимущественного удлинения расположены в центральной части Байкальского рифта, в пределах западной части Хангая и южной части Хубсугульского поднятия. Переходные зоны отмечены в центральной части Монголии, между структурами Гобийского Алтая и Хамар-Дабана, где значения укорочения и удлинения приблизительно равны и не имеют выдержанной ориентировки [Лухнев и др., 2010].

Современные тектонические деформации локального уровня исследованы на примере области сочленения Южно-Байкальской, Северо-Байкальской и Бар-

гузинской рифтовых впадин, которая представляет собой сложную структуру с двумя трансферными зонами – Ольхонско-Святоносской и Усть-Баргузинской. Показано, что движение блоков происходит в ЮВ направлении, перпендикулярно структурам трансферных зон и под острым углом по отношению к общему простиранию Байкальского рифта, что отвечает условиям правостороннего сдвига-раздвига по главной структуре (рис. 8. а, б) [Лухнев и др., 2013]. Средние значения скоростей увеличиваются от 3.0 мм/год в северной части Южно-Байкальской впадины до 6.5 мм/год – в Баргузинской. Оси удлинения, которое превалирует в пределах района исследований, в среднем имеют СЗ-ЮВ направление. Области повышенных деформаций тяготеют к структурам с высоким уровнем сейсмиче-

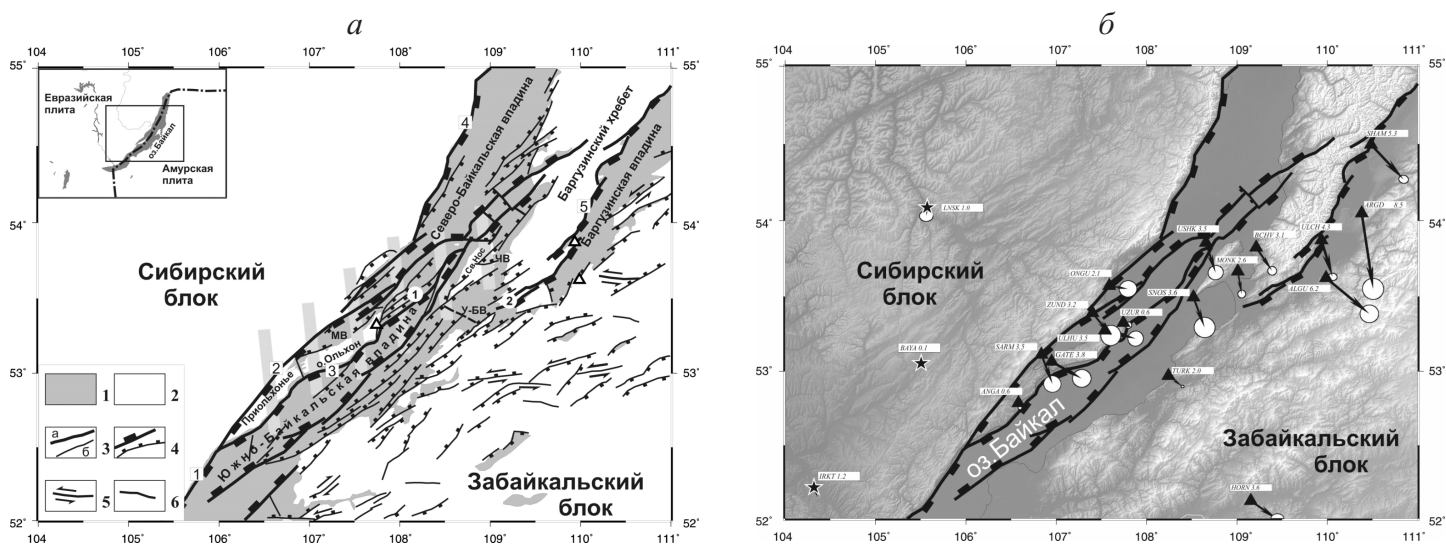


Рис. 8. Структура и современные горизонтальные движения центральной части Байкальской рифтовой системы по данным GPS-измерений [Лухнев и др., 2013].

а – неотектоническая разломно-блоковая структура центральной части Байкальской рифтовой системы. Цифрами в квадратах обозначены главные разломы: 1 – Обручевский, 2 – Приморский, 3 – Морской (Ольхонский), 4 – Северо-Байкальский, 5 – Баргузинский. Цифрами в кругах обозначены Ольхонско-Святоноская (1) и Усть-Баргузинская (2) трансферные зоны. МВ – Маломорская впадина, ЧВ – Чивыркуйская впадина, У-БВ – Усть-Баргузинская впадина. Серией широких серых полос выделена Ольхонско-Святоноская зона аккумуляции. На врезке – положение района исследований. 1 – осадки и вода озер, заполняющие рифтовые впадины; 2 – породы фундамента; 3 – рифтовые разломы: а – главные, б – второстепенные; 4–6 – кинематика разломов: 4 – сбросы, 5 – сдвиги, 6 – разломы с неустановленным типом смещений; б – скорости современных горизонтальных движений центральной части Байкальской рифтовой системы по данным измерений методом GPS-геодезии за период с 1994 по 2011 г. Звездочками и треугольниками показаны пункты Байкальского GPS-полигона с аббревиатурами их названий и векторами скоростей (стрелки с эллипсами 95%-ного доверительного интервала). Звездочки – пункты локальной системы отсчета, расположенные в пределах стабильного Сибирского блока.

Fig. 8. The structure and recent horizontal movements of the central part of the Baikal rift system, according to GPS measurement data [Лухнев и др., 2013].

а – neotectonic fault-block structure of the central part of the Baikal rift system. Numbers show main faults: 1 – Obruchevsky, 2 – Primorsky, 3 – Morskoy (Olkhon), 4 – Northern Baikalsky, 5 – Barguzin. Numbers in circles show the Olkhon-Svyatoy Nos (1) and Ust Barguzin (2) transfer zones. MB – Malomorskaya basin, ЧВ – Chivyrkuy basin, У-БВ – Ust Barguzin basin. Wide grey bands show the Olkhon-Svyatoy Nos accommodation zone. The region under study is shown in the insert. 1 – sediments and water of lakes in rift basins; 2 – basement rocks; 3 – rift faults: а – main, б – secondary; 4–6 – kinematics of faults: 4 – normal faults, 5 – strike-slip faults, 6 – faults which type of displacement is not identified. б – rate of present-day horizontal movements in the central part of the Baikal rift system, according to measurements obtained from GPS geodetic surveys in the period from 1994 to 2011. Stars and triangles show monitoring stations in the GPS polygon in the Baikal region; names of the stations are abbreviated; arrows with ellipses show vectors of velocities (95% confidential interval). Stars show local reference sites located within the stable Siberian block.

ской активности в Южно-Байкальской и, отчасти, в Баргузинской впадинах, что подтверждает существование современной зоны деструкции земной коры в Байкальской рифтовой системе [Шерман и др., 2004], которая представляется наиболее вероятным источником сильных землетрясений будущего в этом районе (рис. 9, а).

В поле скоростей вращения земной поверхности выделяются две зоны с разнонаправленным вращением (рис. 9, б). Вращение по часовой стрелке характерно для структур ССВ простираения (Маломорская впадина, южная часть Северо-Байкальской впадины, поднятие Баргузинского хребта). Вращение против часовой стрелки получено для структур СВ простираения (северная часть Южно-Байкальской впадины, южная часть Баргузинской впадины). В целом полученные

данные показывают сложную картину современных горизонтальных смещений и деформаций в пределах области сочленения рифтовых структур СВ и ССВ простираения, подчеркивая потенциальную возможность реализации в их пределах соответственно левосторонних и правосторонних сдвиговых движений по разломам.

Следует упомянуть о первых результатах применения не получившего пока широкого распространения в России метода исследований площадных деформаций земной поверхности с использованием спутниковых радарных снимков. Нами в зоне сочленения субширотной Тункинской и субмеридиональной Хубсугульской ветвей юго-западного фланга Байкальской рифтовой системы выявлена область активного деформирования земной поверхности с образованием крупных

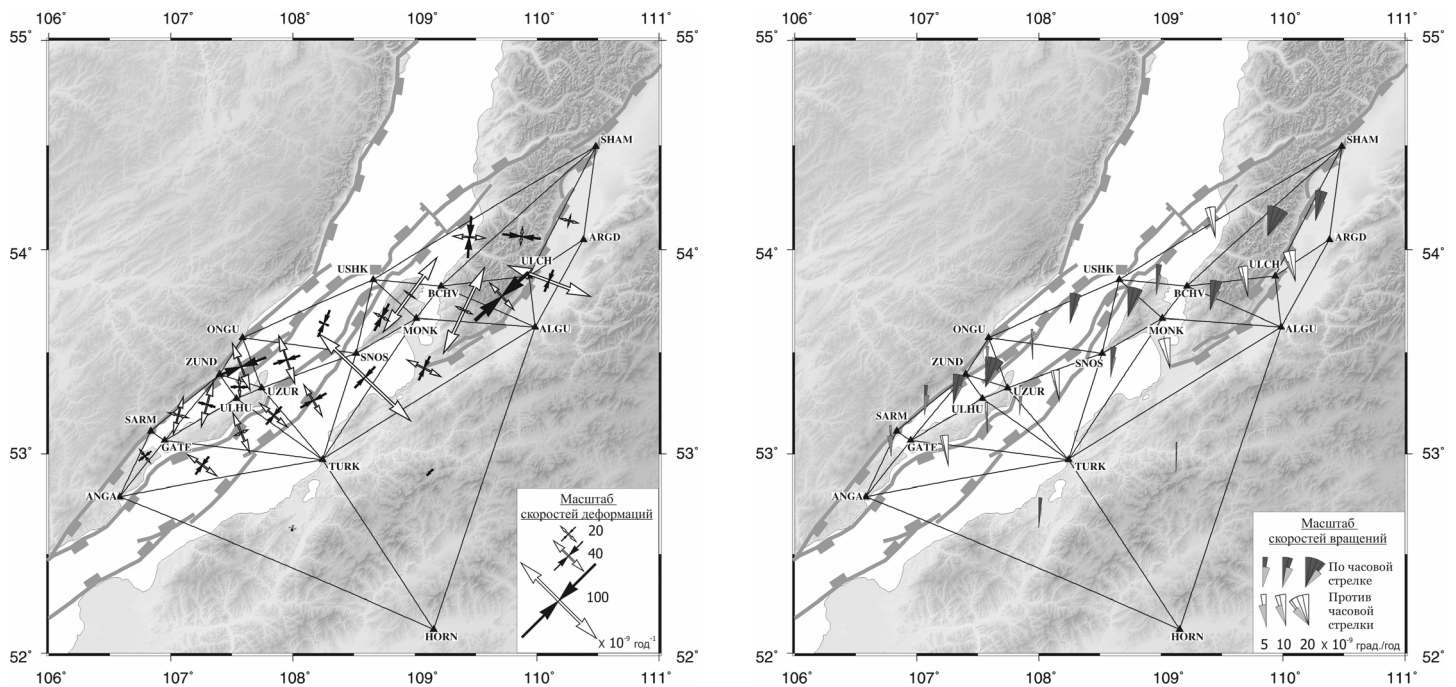


Рис. 9. Современные горизонтальные деформации и вращения центральной части Байкальской рифтовой системы по данным GPS-измерений [Лухнев и др., 2013].

a – поле скоростей относительных горизонтальных деформаций. Оси деформаций удлинения показаны расходящимися незалитыми стрелками, оси укорочения – залитыми сходящимися стрелками; *б* – поле скоростей вращений земной поверхности в горизонтальной плоскости.

Fig. 9. Recent horizontal deformation and rotation of the central part of the Baikal rift system, according to GPS-measurement data [Лухнев и др., 2013]

a – field of velocities of relative horizontal deformation. Deformation axes due to extension are shown by divergent white arrows; deformation axes due to compression are shown by convergent dark arrows; *b* – field of rotation velocities of the crust in the horizontal plane.

открытых трещин, не сопровождающимся сейсмическими явлениями. Для оценки скорости современных движений в пределах исследуемых структур мы применили метод дифференциальной РСА-интерферометрии [Лебедева и др., 2013] с использованием космических снимков японских спутников ALOS/PALSAR. На интерферограмме, полученной из снимков с разницей пролетов два года (2009.01.16–2007.01.11), выделена линейная зона активных деформаций сантиметрового уровня. Длина структуры СЗ простирания составляет около 4 км. Сдвиг по линии визирования радара (LOS) составляет от 18 до 42 мм, что соответствует вертикальному смещению от 22 до 50 мм либо горизонтальному смещению от 32 до 74 мм. Данные, полученные с помощью метода РСА-интерферометрии, коррелируют с данными наземных геодезических измерений, проведенных в период 2009–2011 гг., которые показывают, что большинство базовых линий полигона испытывает удлинение с максимальными значениями, достигающими 30 мм/год. Активизация разрывных структур происходит в соответствии с современным полем напряжений.

4. ИЗУЧЕНИЕ НАЛОЖЕННОСТИ И УНАСЛЕДОВАННОСТИ ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИХ И СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Исследования по блоку базируются на представлении о том, что развитие тектонических деформаций в пределах различных регионов внутренней части Евразии на протяжении неотектонического этапа началось в разное время [Леви, 1991] и происходило неравномерно. Исследуя основные закономерности современного напряженно-деформированного состояния земной коры Центральной Азии, логично принимать современный этап тектонического развития земной коры за неотъемлемую часть неотектонического этапа активизации. В рамках такого подхода необходимо исследовать общий геодинамический фон, главные долговременные тенденции тектонического развития региона, которые привели к современному состоянию геологической структуры и рельефа исследуемой территории. Наиболее чувствительными к воздействию и изменениям напряженно-деформированного состояния

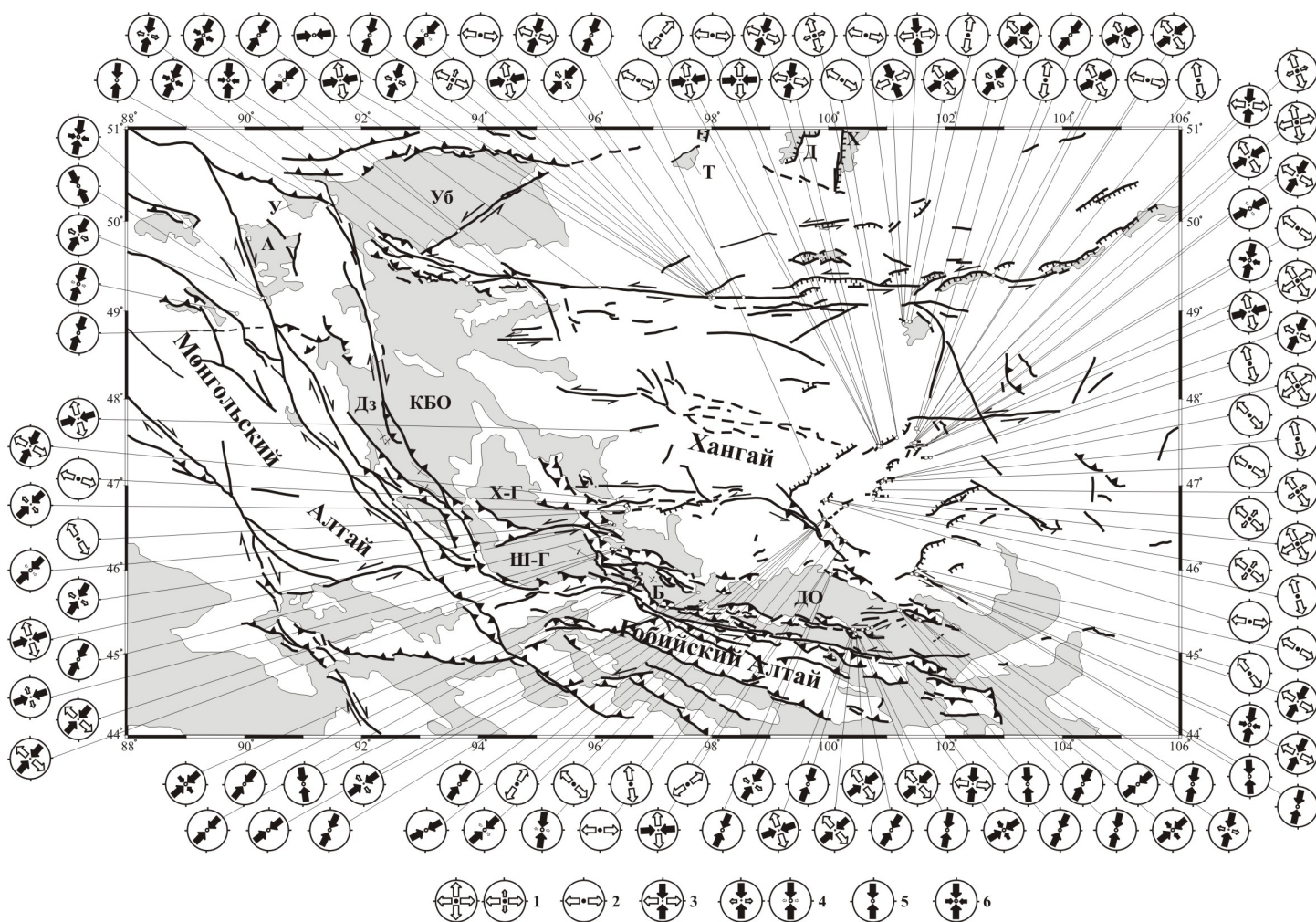


Рис. 10. Карта позднекайнозойского напряженного состояния Монгольского блока [Parfeevets, Sankov, 2012].

1 – стресс-тензоры режима радиального растяжения; 2 – стресс-тензоры режима растяжения; 3 – стресс-тензоры режима сдвига; 4 – стресс-тензоры режима транспрессии; 5 – стресс-тензоры режима сжатия; 6 – стресс-тензоры режима радиального сжатия. Классификация стресс-тензоров дана в соответствии с [Delvaux et al., 1997].

Рис. 10. The map of the state of stresses of the Mongolian block in the Late Cenozoic [Parfeevets, Sankov, 2012].

Legend of stress tensors: 1 – radial extension, 2 – extension, 3 – shear, 4 – transpression, 5 – compression, 6 – radial compression. The stress tensors are classified according to [Delvaux et al., 1997].

являются зоны активных разломов. На основе геологоструктурных и геоморфологических реконструкций основных этапов эволюции поля тектонических напряжений в зонах разломов будут определены долговременный и современный стили деформирования земной коры, степень их унаследованности или наложенности. Изучение соотношений между современными и неотектоническими движениями и деформациями даст возможность выделить и исследовать области современной перестройки тектонических деформаций как мест высокой концентрации напряжений и возможных катастрофических землетрясений.

В рамках работ, проводимых лабораторией современной геодинамики, обобщены материалы многолетних исследований позднекайнозойского напряженного

состояния земной коры и геодинамики Монгольского блока. Построена карта полей палеонапряжений Центральной и Западной Монголии [Парфеевец, Саньков, 2010; Parfeevets, Sankov, 2012] (рис. 10). Особое внимание уделено исследованиям переходных зон между такими крупными орогенами, как Хангай и Гобийский Алтай.

В целом для территории характерно, что максимальные деформации, связанные с коллизийным сжатием генерального уровня СВ направления, концентрируются по периферии Монгольского блока. При этом максимальное сжатие сосредоточено на его западной и южной границе и формирует право- и левосторонние транспрессивные структуры Монгольского и Гобийского Алтая. Деформациям, связанным с

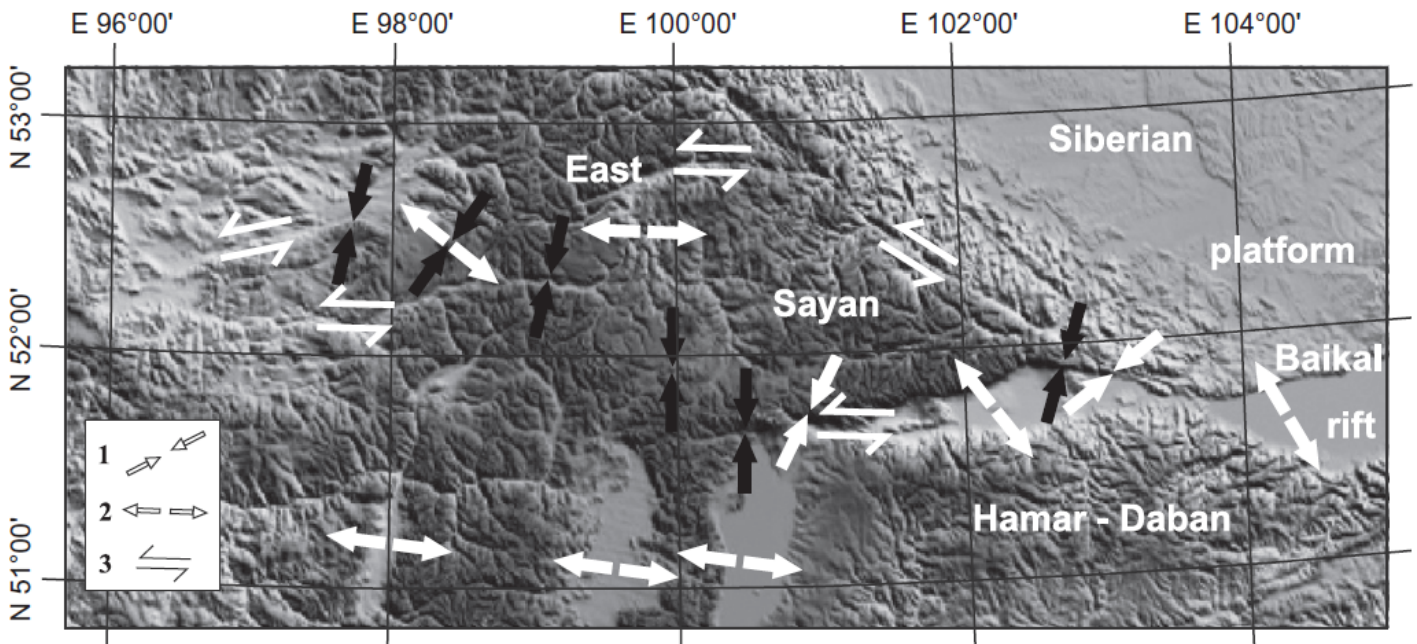


Рис. 11. Эволюция деформационных структур южной части Восточного Саяна [Arzhannikova et al., 2011].

Черные стрелки характеризуют первую тектоническую фазу, начавшуюся в позднем плиоцене, белые – позднечетвертичную фазу. 1 – структуры сжатия; 2 – структуры растяжения; 3 – структуры сдвига.

Fig. 11. Evolution of deformation structures of the southern part of East Sayan [Arzhannikova et al., 2011].

Legend of structures: 1 – compression, 2 – extension, 3 – shear. Black arrows correspond to the first tectonic phase that started in the Late Pliocene; white arrows correspond to the Late Quaternary phase.

сокращением земной коры, подвержены не только горные хребты, обрамляющие блок, но и межгорные депрессии, отделяющие Гобийский и Монгольский Алтай от Хангайского свода, а также южная часть Хангайского поднятия. Разнообразие деформаций центральной части Хангая связано с взаимодействием растяжения, возникающего в результате поддерживающего влияния мантийной аномалии и регионального сжатия СВ направления. Мы предполагаем, что относительная жесткость и слабая деформируемость Хангайского блока способствуют передаче деформаций на его северное ограничение – сейсмически активный Северо-Хангайский сдвиг. В этой широтной зоне также наблюдается увеличение роли сжатия к западу, где она сочленяется с транспрессивными структурами Монгольского Алтая, и увеличение влияния растяжения к востоку, где формируются структуры типа «releasing bends». В этих районах поле современных тектонических напряжений, устанавливаемых с использованием механизмов очагов землетрясений, по своим пространственным характеристикам и типу совпадает с характеристиками реконструированного нами позднекайнозойского напряженного состояния земной коры.

В отличие от Западной Монголии, южное горное обрамление Сибирской платформы представляет собой территорию с более сложной историей деформа-

ционного процесса в позднем кайнозое. На основе анализа космических и аэрофотоснимков, трехмерной модели рельефа, данных полевых исследований и опубликованных материалов авторы [Arzhannikova et al., 2011] пришли к выводу, что формирование рельефа южной части Восточного Саяна началось в позднем плиоцене – плейстоцене путем активизации древних геологических структур в условиях сжатия. На начальном этапе структуры формировались в условиях субмеридионального сжатия, а на позднем – северо-восточного (рис. 11). В позднем плейстоцене вращение блоков по часовой стрелке способствовало формированию сдвигов и вторичных структур растяжения в условиях генерального поля сжатия. В целом, сдвиговая тектоника определяет облик и кинематику структур в юго-западном обрамлении Сибирской платформы на позднекайнозойском этапе, а также палео- и современную сейсмичность [Аржанников, Аржанникова, 2009, 2011; Иванов и др., 2009; Jolivet et al., 2013]. Эти представления подтверждают и уточняют наши выводы, сделанные ранее на основе анализа геологических структурных данных, реконструкций напряженно-деформированного состояния земной коры, физического моделирования и результатов GPS-измерений, обосновывающих основные этапы эволюции напряженно-деформированного состояния в южном горном обрамле-

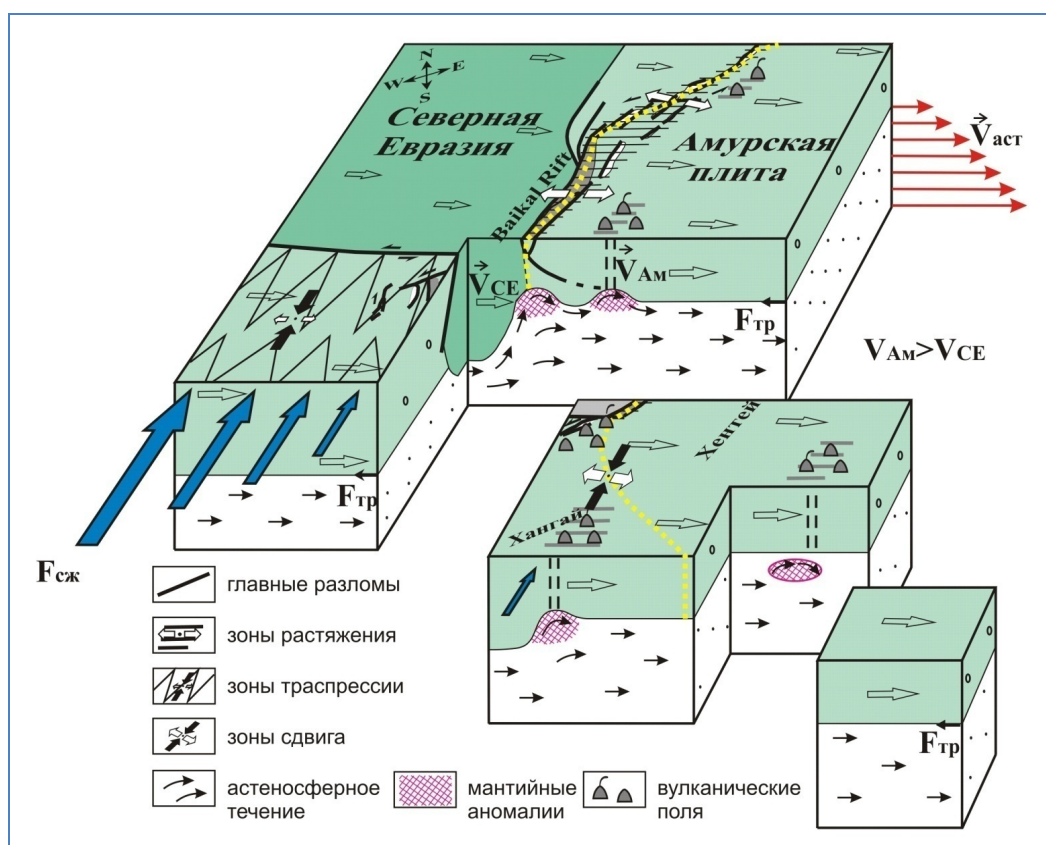


Рис. 12. Идеализированная блок-диаграмма, поясняющая взаимоотношения между силами вязкого трения на подошве литосферы под воздействием астеносферного течения, сжатием как результатом конвергенции Индостана и Евразии и крупными неоднородностями литосферы в Монголо-Сибирском регионе [Саньков и др., 2011б].

Буквами обозначены: $V_{аст}$ – скорость движения астеносферного потока; $V_{СЕ}$ – скорость движения Северной Евразии; $V_{АМ}$ – скорость движения Амурской плиты. Граница Евразийской и Амурской плит показана точечным пунктиром.

Fig. 12. An idealized block diagram providing an explanation of relationships between viscous friction forces at the lithospheric bottom under the impact of asthenospheric flow, compression caused by convergence of the Indian and Eurasian plates, and large discontinuities of the lithosphere in the Mongol-Siberian region [Саньков и др., 2011б].

$V_{аст}$ – velocity of the asthenospheric flow; $V_{СЕ}$ – velocity of movements of North Eurasia; $V_{АМ}$ – velocity of movements of the Amur plate. The boundary between the Eurasian and Amur plate is shown by the dotted line.

нии Сибирской платформы [Саньков и др., 2002; Парфеев, Саньков, 2006а, 2006б]. В целом эта территория вызывает особый интерес с точки зрения наложенности позднекайнозойских деформаций и формирования аномальных структур, представляющих повышенную опасность, как зона концентрации тектонических напряжений и возможного формирования очагов катастрофических землетрясений.

5. ОТ РЕГИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ К МОДЕЛИ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ МОНГОЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

На основе комплексного анализа параметров, характеризующих современные и неотектонические де-

формации земной коры и верхней мантии, предложена модель современной геодинамики Монголо-Сибирского региона, показывающая источники тектонических сил и результаты их воздействия [Саньков и др., 2011а, 2011б] (рис. 12). В качестве показателей современных деформаций на уровне земной поверхности приняты направления осей горизонтальных деформаций в геодезической сети по данным GPS-геодезии, а на уровне средней коры – направления принципиальных осей напряжений стресс-тензоров, рассчитанных с использованием механизмов очагов землетрясений. В качестве показателей позднекайнозойских палеодеформаций для верхней части коры приняты направления осей напряжений стресс-тензоров, реконструированных по геолого-структурным данным. Для мантийных глубин показателями деформации служат данные о сейсмической анизотропии верхней мантии, полученные из

опубликованных источников по результатам исследований расщепления поперечных волн от удаленных землетрясений. Показано, что направление осей деформаций удлинения (минимального сжатия) по всему комплексу данных совпадает с направлением анизотропии верхней мантии региона, медианное значение которого составляет 310–320°. Сейсмическая анизотропия интерпретируется как упорядоченная ориентировка кристаллов оливина, возникающая при больших деформациях вследствие течения вещества мантии. Наблюдаемая механическая сопряженность коры и верхней мантии Монголо-Сибирской подвижной области показывает участие литосферной мантии в формировании неотектонических структур и позволяет выделить главные процессы, определяющие позднекайнозойский тектогенез на этой территории (рис. 12).

Сделан вывод о том, что одним из главных движущих механизмов неотектонических и современных деформаций Монголо-Сибирского региона является длительно живущий крупномасштабный поток вещества верхней мантии в направлении с СЗ на ЮВ, вызывающий как движение северной части континента в целом, так и дивергенцию Северной Евразии и Амурской плиты с формированием Байкальской рифтовой системы. В западной части региона деформации литосферы связаны со сжатием коллизионного происхождения, а в центральной – с динамическим взаимодействием указанных крупномасштабных тектонических процессов.

6. ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ И НА ИСТОРИЧЕСКОМ ЭТАПЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ

Одним из наиболее ярких отражений современной активности литосферы является ее сейсмичность. В тектонически активных областях Центральной Азии сейсмический фон в целом повышен и испытывает колебания во времени в связи с пространственно-временными вариациями процессов современного разломообразования, миграции флюидов, изменениями напряженного состояния под воздействием прохождения деформационных волн разного происхождения.

Для Байкальской рифтовой системы осуществлена компьютерная визуализация распределения сейсмических событий в пространстве и времени за инструментальный период 1964–2002 гг. [Новопашина и др., 2012]. Построение для отдельных сейсмоактивных зон пространственно-временных диаграмм параметра суммарной выделившейся при землетрясениях энергии позволило обнаружить цепочки смещения максимумов сейсмической энергии вдоль осей проецирования и определить скорости этих смещений. На различных участках центральной части Байкальской впадины и

северо-восточной части БРС выявлены миграции сейсмической активности со скоростями от первых километров до десятков километров в год. Размеры сейсмоактивных сегментов областей проецирования, на которых зафиксированы миграции, за некоторыми исключениями, не превышают 70 км, что обусловлено параметрами делимости земной коры.

Проведенный для сейсмических структур Байкальской рифтовой системы (рис. 13, а) по временным рядам количества землетрясений взаимокорреляционный анализ с использованием ранговой корреляции (рис. 13, б) позволил установить характерные периоды одновременной активизации этих структур длительностью от двух до восьми лет, выделяющиеся по продолжительности непрерывных последовательностей высоких коэффициентов взаимной корреляции кривых. Временные промежутки между максимумами сейсмической активизации (1965, 1973, 1983, 1990, 1997) составляют 7–11, в среднем 9 лет. Результаты корреляционного анализа дают основание предполагать воздействие на литосферу некоего фактора, влияющего на все сейсмоактивные структуры, реагирующие на это воздействие в течение ограниченного промежутка времени.

Если в тектонически активных областях Центральной Азии сейсмический фон в целом повышен, хотя испытывает колебания во времени в связи с пространственно-временными вариациями процессов современного разломообразования, то в пределах стабильных участков литосферы, где современные деформации не превышают 10^{-9} год⁻¹, проявления землетрясений достаточно редки. Спорадически возникающие очаги и кластеры землетрясений в пределах современных тектонических плит (краевая часть Сибирского блока Североевразийской плиты, Амурская плита) позволяют говорить о потенциально высокой сейсмической опасности этих территорий, связанной с проявлениями транзитной сейсмичности и процессами собственной тектонической активизации. В связи с этим проводится поиск новой информации о забытых и ранее неизвестных исторических землетрясениях Восточной Сибири и прилегающих территорий с использованием максимально широкого диапазона исторических источников. Как показали исследования, проведенные Я.Б. Радзиминовичем [Радзиминович, Щетников, 2009, 2010, 2011; Радзиминович, Никонов, 2013; Радзиминович и др., 2012; Radziminovich, Shchetnikov, 2013], необходима детальная ревизия исходных данных и переоценка в ряде случаев параметров уже известных и каталогизированных сейсмических событий. Параметризация многих из них была выполнена на основе ограниченных исходных данных, а также, в некоторых случаях, под влиянием традиционных, стереотипных представлений. Уточнение основных очаговых параметров землетрясений позволит скорректировать существующие представления о сейсмической опасности тех или иных территорий. Так, в результате

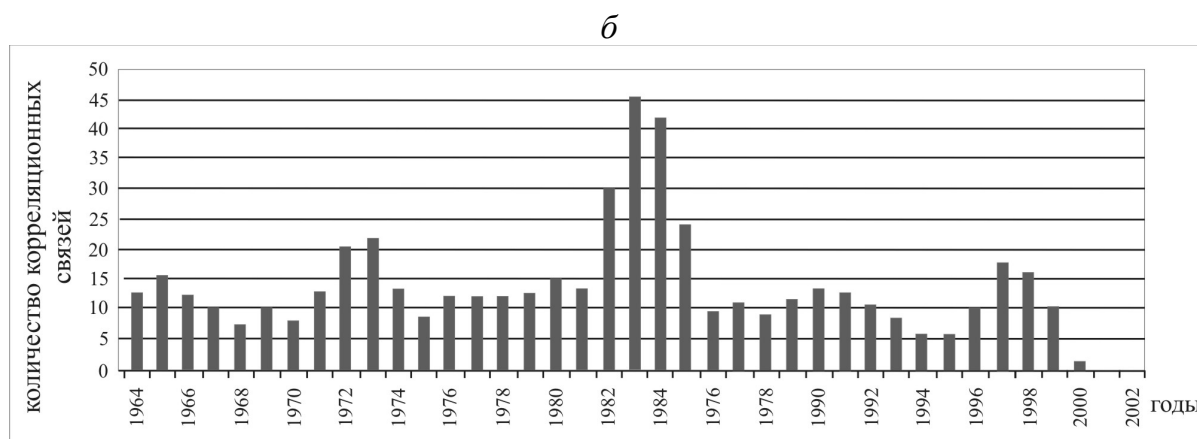
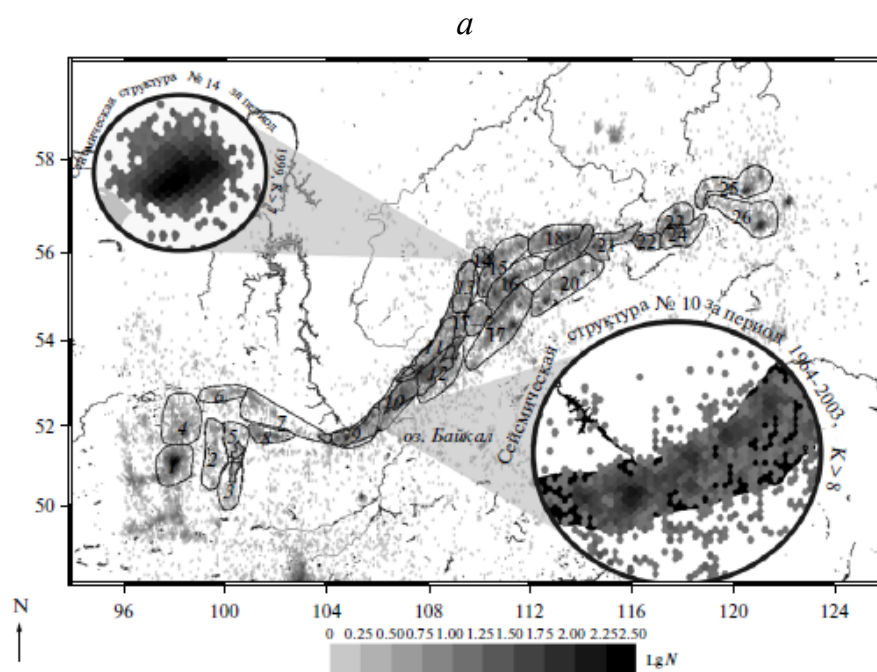


Рис. 13. Сейсмические структуры Байкальской рифтовой системы (а) и вариации количества корреляционных связей временных рядов числа землетрясений $K \geq 8$ для них со значимыми положительными коэффициентами корреляции (б) [Новопашина и др., 2012].

Fig. 13. Seismic structures of the Baikal rift system (а), and variations of the number of correlations between time rows of the number of earthquakes ($K \geq 8$) at such structures with significant positive correlation coefficients (б) [Новопашина и др., 2012].

исследования исторической сейсмичности Восточного Забайкалья показано, что значения магнитуд землетрясений, приуроченных к основным активным структурам территории, могут достигать 5.5–6.0. Отмечено, что с середины 1930-х годов в Восточном Забайкалье наблюдалось сейсмическое затишье, прерванное в 2006 г. землетрясением с $M \sim 4.5$. Определены основные параметры семи исторических землетрясений, которые могут быть включены в параметрические каталоги (рис. 14).

Другим характерным примером применяемого подхода является исследование, в результате которого были пересмотрены параметры «Великого Восточно-

Сибирского» землетрясения 1 февраля 1725 г. [Радзиминович, Никонов, 2013]. Это землетрясение долгое время считалось не только наиболее ранним из точно датированных исторических сейсмических событий Восточной Сибири, но и наиболее сильным за весь период фиксации сейсмических событий в регионе ($M=8.2$) [Новый каталог..., 1977]. Местоположение эпицентра (Становое нагорье) и магнитуда землетрясения оценивались на основе скудных исторических данных, а также с использованием палеосейсмологической информации. Параметры землетрясения на протяжении десятилетий служили решающим аргументом при осуществлении работ по оценке сейсмиче-

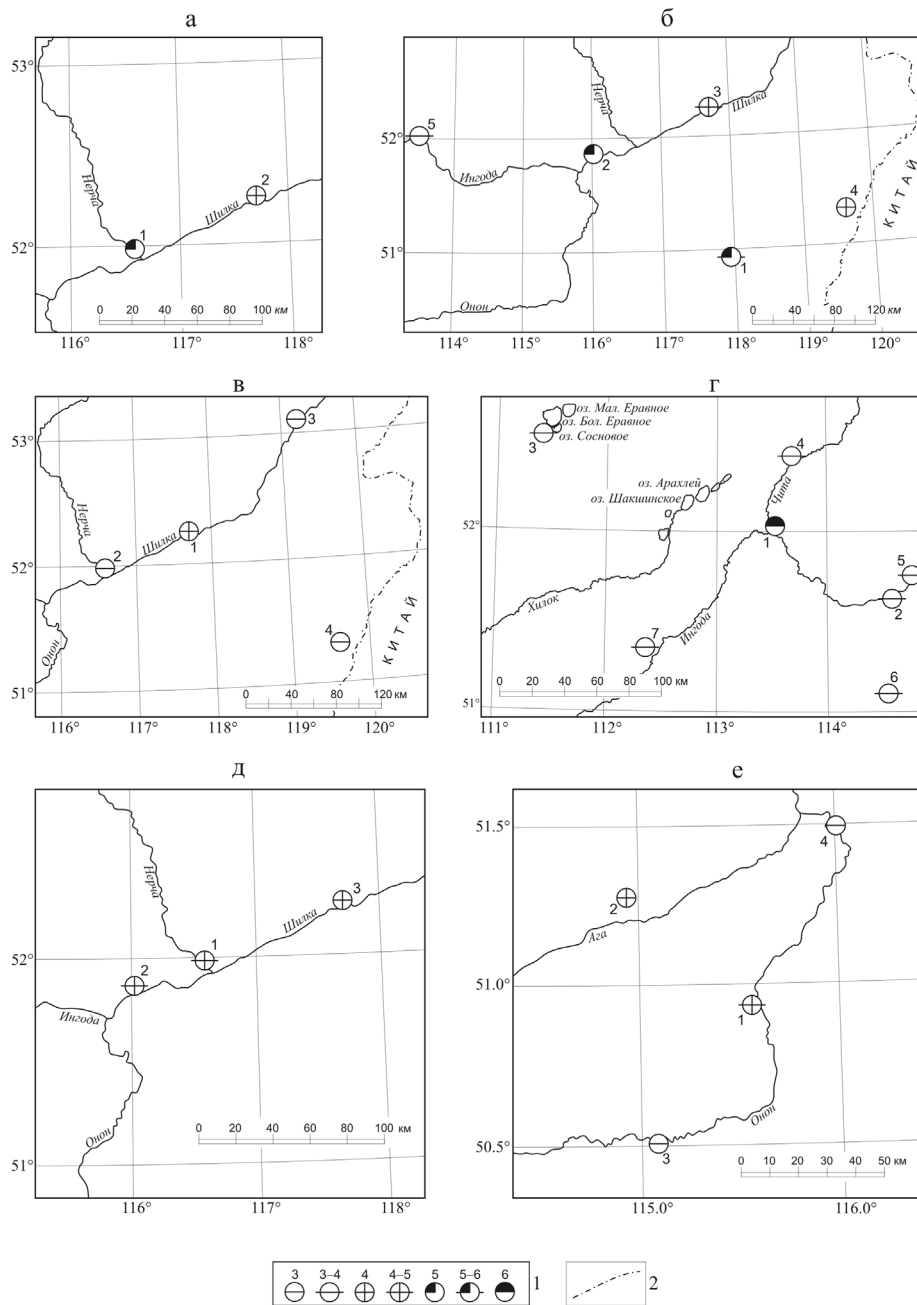


Рис. 14. Макросейсмические проявления исторических землетрясений Восточного Забайкалья [Радзиминович, Щетников, 2010].

a – землетрясение 3 мая 1886 г. (цифрами обозначены населенные пункты Нерчинск (1) и Сретенск (2)); *б* – землетрясение 17 декабря 1889 г. (цифрами обозначены населенные пункты Александровский завод (1), Шилкинское (Шилка) (2), Сретенск (3), Нерчинский завод (4), Чита (5)); *в* – землетрясение 29 октября 1892 г. (цифрами обозначены населенные пункты Сретенск (1), Нерчинск (2), Горбица (3), Нерчинский завод (4)); *г* – землетрясение 23 февраля 1895 г. (цифрами обозначены населенные пункты Чита (1), Кайдалова (Кайдалово) (2), Укар (Укыр) (3), Подволочное (Подволок) (4), Князе-Урульгинское (Урульга) (5), Агинское (6), Бальзойское (Бальзой) (7)); *д* – землетрясение 28 января 1908 г. (цифрами обозначены населенные пункты Нерчинск (1), Шилка (2), Сретенск (3)); *е* – землетрясение 23 сентября 1927 г. (цифрами обозначены населенные пункты Оловянная (1), Могойтуй (2), Верхний Часучей (Верхний Цасучей) (3), Макарово (4)). 1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2 – государственная граница.

Fig. 14. Macro seismic manifestations of historical earthquakes in Eastern Transbaikalie [Радзиминович, Щетников, 2010].

a – May 3, 1886 earthquake (numerals mark the towns of Nerchinsk (1) and Sretensk (2)); *б* – December 17, 1889 earthquake (numerals mark the following population centers: (1) Aleksandrovskii Zavod, (2) Shilkinskoe (or Shilka), (3) Sretensk, (4) Nerchinskii Zavod, (5) Chita); *в* – October 29, 1892 earthquake (numerals mark the following population centers: (1) Sretensk, (2) Nerchinsk, (3) Gorbitsa, (4) Nerchinskii Zavod); *г* – February 23, 1895 earthquake (numerals mark the following population centers: (1) Chita, (2) Kaidalova (or Kaidalovo), (3) Ukar (or Ukyr), (4) Podvolochnoe (or Podvolok), (5) Knyaze-Urul’ginskoe (or Urul’ga), (6) Aginskoe, (7) Bal’zoiskoe (or Bal’zoi); *д* – January 28, 1908 earthquake (numerals mark the following population centers: (1) Nerchinsk, (2) Shilka, (3) Sretensk); *е* – September 23, 1927 earthquake (numerals mark the population centers: (1) Olovyannaya, (2) Mogoitui, (3) Verkhni Chasuchai (or Verkhni Tsasuchei), (4) Makarovo). 1 – intensity of shaking on the MSK-64 scale; 2 – state border.

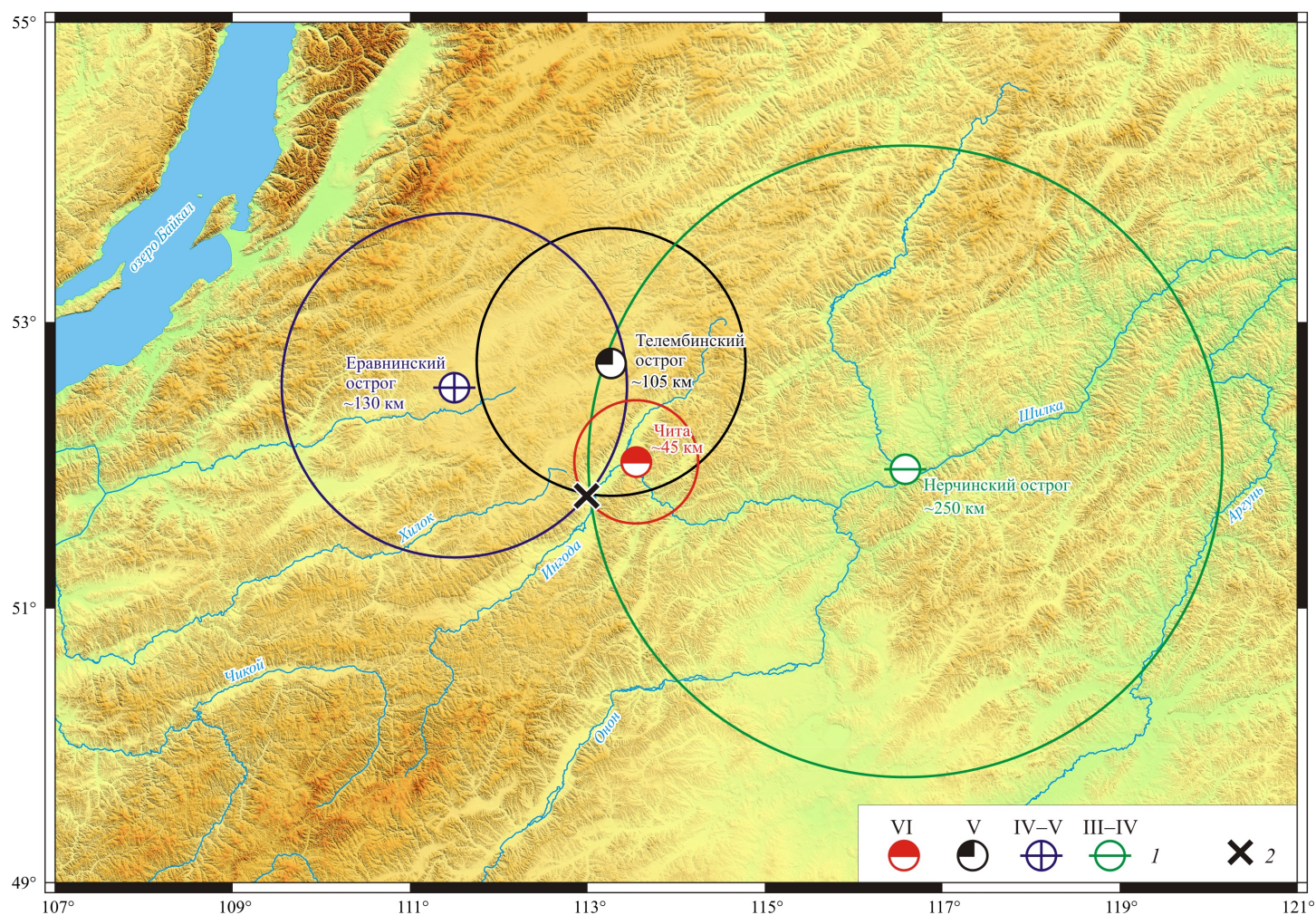


Рис. 15. Локализация эпицентра землетрясения 1 февраля 1725 г. по результатам пересмотра исходных исторических данных [Радзиминович, Никонов, 2013].

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2 – макросейсмический эпицентр.

Fig. 15. Location of the epicentre of 01 February 1725 earthquake, according to reviewed historical data [Radziminovich, Nikonov, 2013].

1 – intensity of shocks as per MSK-64 scale; 2 – macroseismic epicentre.

ской опасности и сейсмическому районированию северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны. Вместе с тем решение очаговых параметров в «Новом каталоге...» [1977] вызывает серьезные сомнения. Предложено новое решение, основанное на повторном, детальном анализе уже известной макросейсмической информации, а также на дополнительных исторических данных, ранее не попадавших в поле зрения сейсмологов. В результате получено иное решение координат эпицентра (51.8° с.ш., 113.0° в.д., Восточное Забайкалье) и существенно меньшее значение магнитуды ($M=6.0$) по сравнению с параметрами, приведенными в «Новом каталоге...» [1977] (рис. 15). Представленное решение заставляет более внимательно относиться к оценкам сейсмической опасности территории Восточного Забайкалья.

7. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОСФЕР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ

В рамках этого направления проводятся исследования литосферно-атмосферных и литосферно-ионосферных взаимодействий на основе данных режимных GPS-наблюдений в тесном взаимодействии и в рамках совместных междисциплинарных проектов с сотрудниками ИСЗФ СО РАН и ИФМ СО РАН [Afraimovich et al., 2010; Сейсмоионосферные и сейсмoeлектромагнитные процессы..., 2012; Perevalova et al., 2014]. Сигналы GPS-спутников содержат информацию о состоянии ионосферы и тропосферы, поэтому существует возможность сопоставления процессов в литосфере и в

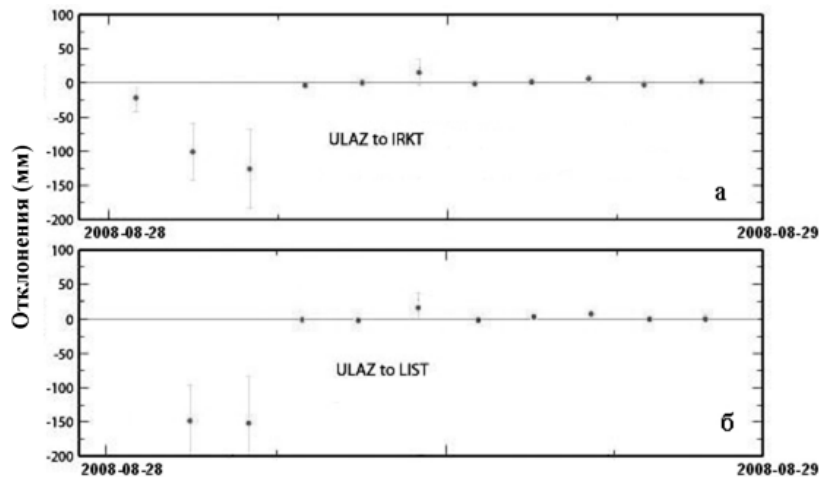


Рис. 16. Изменения на базовых линиях ULAZ-IRKT (а) и ULAZ-LIST (б) после Култукского землетрясения 27 августа 2008 г. Временная серия построена с осреднением 1 час [Сейсмоионосферные и сейсмoeлектромагнитные процессы..., 2012].

Fig. 16. Changes in ULAZ-IRKT (a) и ULAZ-LIST (б) base lines after the August 27, 2008 Kultuk earthquake. The time series is constructed with averaging to one hour [Сейсмоионосферные и сейсмoeлектромагнитные процессы..., 2012].

вышележащих геосферах, особенно при проявлении быстрых процессов, таких, как землетрясения. Так, во время Веньчуаньского землетрясения 12.05.2008 г. ($M_w=7.9$) сетью постоянных GPS-станций на территории Китая были зарегистрированы эффекты изменения полного электронного содержания в ионосфере, связанные с воздействием ударной акустической волны, возникшей при быстром смещении земной поверхности. В работе [Afraimovich et al., 2010] показано, что N-образная плоская ударная акустическая волна с полупериодом около 200 с распространялась со скоростью 580 м/с на расстояние около 1000 км от эпицентра. Фронт волны распространялся поперек сейсмогенного разлома, который является надвигом. Предполагается, что указанные особенности волны связаны с геодинамическими условиями возникновения сейсмогенного разрыва и его морфолого-генетическим типом.

Развиваемая в Байкальском регионе сеть GPS-пунктов, функционирующих на постоянной основе, позволяет исследовать эффекты подготовки сильных землетрясений и сигналы, связанные с быстрыми ко-сейсмическими деформациями в литосфере и ионосфере. В результате координированных исследований поведения геодинамических и ионосферных параметров вблизи эпицентра Култукского землетрясения 27.08.2008 г. ($M_w=6.3$) у южной оконечности оз. Байкал показано, что механизм очага землетрясения полностью соответствует системе напряжений, существовавшей до землетрясения, полученной по данным GPS-геодезии [Сейсмоионосферные и сейсмoeлектромагнитные процессы..., 2012]. Высокоточные GPS-измерения во время землетрясения выявили изменения на базовых линиях Улан-Удэ – Иркутск и Улан-Удэ –

Листвянка. После землетрясения отклонения на базовых линиях достигали 125 и 150 мм, соответственно, и пришли к исходному уровню к середине 28.08.2008 г. (рис. 16). Вместе с тем, исследование с помощью системы GPS реакции ионосферы не выявило заметных изменений в поведении параметра полного электронного содержания, обусловленных главным толчком и афтершоками Култукского землетрясения. Выполненный анализ возможных причин отсутствия ионосферного отклика показал, что наиболее вероятной причиной является относительно малая энергетика Култукского землетрясения [Сейсмоионосферные и сейсмoeлектромагнитные процессы..., 2012]. Последовавшие два сейсмических события на Тувинском нагорье 27.12.2011 г. ($M_w=6.7$) и 26.02.2012 г. ($M_w=6.6$) имели довольно ясно выраженный отклик в ионосфере. Анализ мировых данных и результаты наших региональных наблюдений показали, что сейсмические события, для которых наблюдаются ионосферные отклики, имеют нижний предел по магнитуде порядка 6.5 [Perevalova et al., 2014].

Под руководством К.Г. Леви продолжались традиционные для лаборатории работы по пополнению и анализу баз данных об опасных природных процессах, развивающихся в Сибири и в мире с целью выявления их цикличности и взаимосвязей с солнечно-земными взаимодействиями. Их результаты опубликованы в трехтомнике «Радиоуглеродная хронология природных и социальных феноменов Северного полушария» [Леви и др., 2010] (рис. 17). Проанализировано развитие во времени (последние 50 тыс. лет) вулканизма, сейсмичности, почво- и торфообразования, наводнений, природных пожаров, фауны и археологических

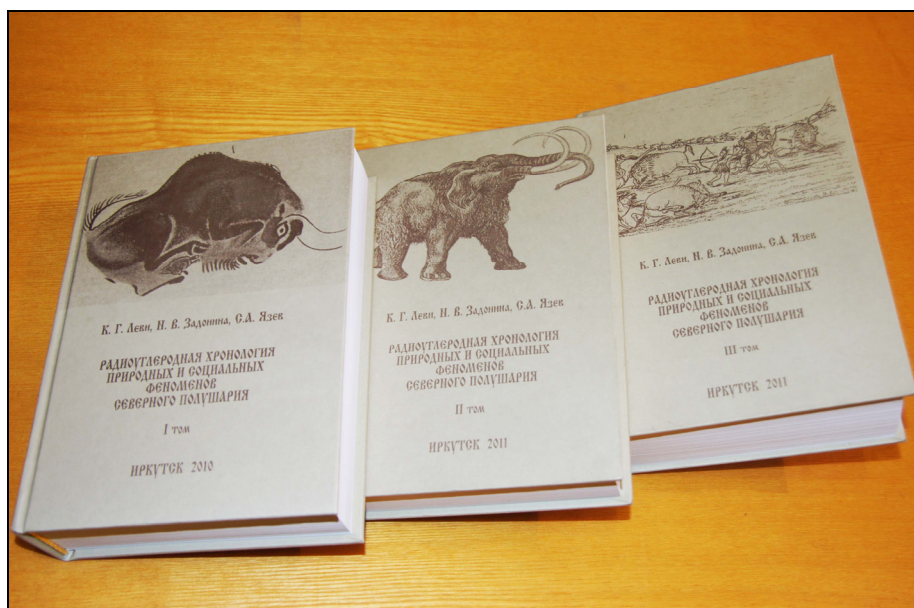


Рис. 17. Три тома монографии «Радиоуглеродная хронология природных и социальных феноменов Северного полушария» [Леви и др., 2010].

Fig. 17. Photo of the three volumes of “Radiocarbon Chronology of Natural and Social Phenomena in the Northern Hemisphere” [Levi et al., 2010].

культурных комплексов. Сделан главный вывод о том, что весь комплекс атмосферно-гидросферных и экзогенных процессов сильно зависит от длиннопериодных вариаций солнечной активности в сочетании с изменением орбитальных параметров Земли (рис. 18) [Задонина, 2009; Леви и др., 2010]. Разработки по взаимосвязям современных геодинамических процессов с изменениями солнечной активности, объединенные понятием «гелиогеодинамика», вошли в изданное учебное пособие для вузов [Задонина, Леви, 2009; Леви и др., 2012].

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие современной геодинамики как науки происходит разнонаправленно. С одной стороны, происходит специализация и углубление исследований, сосредоточенных на современных процессах, с другой – знание закономерностей протекания современных процессов позволяет исследователям получать новую информацию, проникнуть в глубь геологической истории, пользуясь принципом актуализма. Не являются исключением в этом отношении и исследования лаборатории современной геодинамики. Опубликованные в последние годы новые важные научные результаты охватывают широкий спектр геологических процессов и диапазон возрастов. Получены независимые данные о начале и характере протекания процессов неотектонической активизации, напряженно-деформированном

состоянии земной коры на юге Сибири и в Монголии. Предложена модель позднекайнозойской и современной геодинамики Монголо-Сибирской подвижной области. Методами GPS-геодезии количественно охарактеризованы современные горизонтальные движения и деформации Центральной Азии и части Дальнего Востока на разных масштабных уровнях. Получены первые результаты исследований локальных деформаций земной поверхности с использованием методов спутниковой радарной интерферометрии и наземной полигонометрии. Развиваются исследования современной и исторической сейсмичности в связи с процессами современного разломообразования в активных тектонических зонах межплитных границ и диффузной активизации слабоактивных внутриплитных территорий. В кооперации с другими научными подразделениями СО РАН успешно ведутся инструментальные исследования взаимодействий литосферы и ионосферы.

Большой интерес к разработкам лаборатории продемонстрирован на состоявшихся 23–29 сентября 2012 г. Всероссийском совещании с участием приглашенных исследователей из других стран «Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе» и Всероссийской молодежной школе по современной геодинамике. На совещании было сформулировано более строгое понимание современной геодинамики как научного направления, в рамках которого изучаются «процессы, происходящие в твердых оболочках Земли – структурно-вещественные преобра-

SA, CM, относительные
единицы

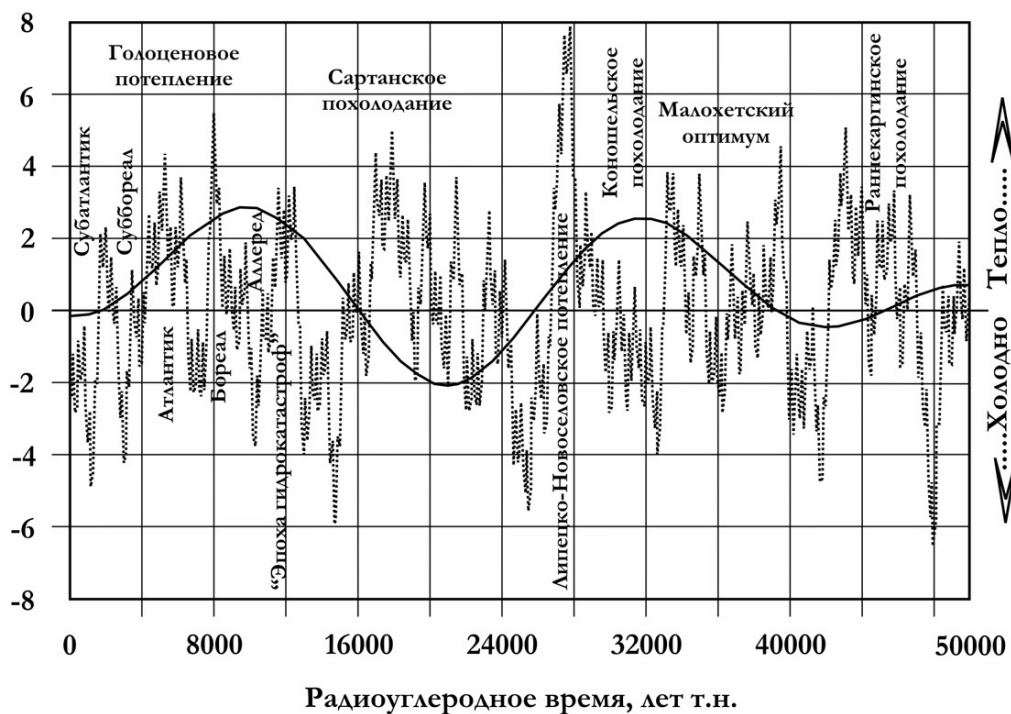


Рис. 18. Модельные кривые вариаций солнечной активности SA и орбитальных параметров Земли CM за 50000 лет [Леви и др., 2010].

Fig. 18. Model curves of solar activity (SA) variations and orbital parameters of Earth (CM) for the past 50000 years [Леви и др., 2010].

зования вещества, короткопериодные движения литосферы и/или ее самой верхней части – земной коры, их результаты, вариации напряженно-деформированного состояния, отраженные в структурных формах, проявившихся в течение первого тысячелетия или нескольких столетий тому назад и происходящие в реальное время, а также процессы, синхронно протекающие и часто генетически связанные с движениями и деформациями верхней части литосферы или земной коры» [Саньков и др., 2012, с. 57]. Современная геодинамика имеет дело с процессами и явлениями, которые можно непосредственно измерить, изучить и пытаться прогнозировать. Этим коротким в геологическом смысле периодом времени и возможностью мониторинга событий и процессов современная геодинамика отличается от палеогеодинамики, в рамках которой геодинамические процессы реконструируются по результатам их воздействия (структурам, вещественным комплексам). Вместе с тем, совершенно очевидно, что современные геодинамические процессы являются неотъемлемой частью текущего геологического этапа развития, поэтому современная геодинамика рассматривает состояние недр, сил и процессов в планете Земля как продолжение позднекайнозойской эволюции.

Исходя из такого понимания современной геодинамики, выстраиваются перспективы развития исследований лаборатории, предполагающие опору на инструментальные методы исследований. Главным трендом современных исследований на геодинамических полигонах, которому стремится следовать коллектив лаборатории, является изучение движений и деформаций на основе использования данных постоянных измерений. Режимные наблюдения с поддержкой длинных временных рядов позволяют исследовать динамику деформаций, характерные черты которой определяются мультимасштабными пространственно-временными процессами деформирования земной коры. Главной практической задачей является организация и поддержка сети пунктов постоянных измерений методом спутниковой геодезии в Байкальской рифтовой системе и на окружающих территориях с возможностью оперативного получения и обработки данных на региональных геодинамических полигонах. Наряду с этим будут развиваться измерения на локальных (характерный размер 10^6 – 10^5 м) и малых (характерный размер 10^4 м) геодинамических полигонах. Организация малых геодинамических полигонов в зонах активных разломов нацелена на исследования закономерности

стей процесса накопления упругих напряжений при подготовке землетрясений.

Планируется усилить исследования локальных площадных деформаций земной поверхности экзогенного и эндогенного происхождения с использованием спутниковой радарной интерферометрии и заверкой методами наземной геодезии.

В рамках инструментальных исследований взаимосвязей современных геодинамических процессов с процессами взаимодействия геосфер совместно с ИСЗФ СО РАН будут продолжены работы по поиску ионосферных предвестников сильных землетрясений и исследования закономерностей отклика ионосферы на сейсмические события. Впервые для Сибири инициируются исследования состояния тропосферы с помощью GPS/ГЛОНАСС технологии, поскольку вопрос о взаимодействии тропосферы и литосферы в регионе слабо исследован. Кроме того, планируется установка новых пунктов постоянных GPS-измерений на побережье озера Байкал и в районах искусственных водохранилищ Ангарского каскада ГЭС с целью получения данных отклика земной коры на изменения уровня воды в этих резервуарах и оценки возможности триггерного эффекта этих изменений на сейсмичность.

С применением геолого-геоморфологических методов будет продолжен поиск и датирование следов опасных процессов недавнего, в геологическом смысле, прошлого, таких, как палеоземлетрясения, оползни, проявления вулканизма, палеогидрокатастрофы, для понимания и интерпретации тенденций современного течения подобных процессов.

Большое внимание будет уделено поиску и датированию геологических и геоморфологических реперов для оценки скорости движений по активным разломам. Исходя из этих данных, будет проводиться математическое моделирование формирования рельефа в зонах разломов с возможностью выработки прогнозных сценариев его дальнейшего развития. Геолого-структурные исследования с привлечением сейсмологических и геодезических данных будут направлены на изучение районов с аномальными соотношениями позднекайнозойских и современных тектонических деформаций как мест возможной перестройки структурного плана с концентрацией повышенных тектонических напряжений.

Будут продолжены поиски неизвестных и забытых землетрясений исторического прошлого для территории Прибайкалья и Забайкалья. Большое практическое значение для уточнения карт сейсмического районирования территории Сибири будут иметь разработки нового концептуального подхода к созданию каталога исторических землетрясений нового поколения.

Успешное проведение исследований по очерченному кругу направлений будет возможно, в том числе, за счет традиционной для лаборатории современной геодинамики широкой международной, внутрироссийской и внутриинститутской кооперации. Созданная в 2013 г. в Иркутском государственном университете базовая кафедра современной геодинамики даст возможность целенаправленно готовить специалистов для пополнения лаборатории молодыми кадрами.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Afraimovich E.L., Feng D., Kiryushkin V.V., Astafyeva E.I., Jin S.G., Sankov V.A. TEC response to the 2008 Wenchuan earthquake in comparison with other strong earthquakes // *International Journal of Remote Sensing*. 2010. V. 31. № 13. P. 3601–3613. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161003727747>.
- Arzhannikova A., Arzhannikov S., Jolivet M., Vassallo R., Chauvet A. Pliocene to Quaternary deformation in South East Sayan (Siberia): Initiation of the Tertiary compressive phase in the southern termination of the Baikal Rift System // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2011. V. 40. P. 581–594. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.10.11>.
- Delvaux D., Moyes R., Stapel G., Petit C., Levi K., Miroshnichenko A., Ruzhich V., San'kov V. Paleostress reconstruction and geodynamics of the Baikal region, Central Asia, Part 2. Cenozoic rifting // *Tectonophysics*. 1997. V. 282. P. 1–38. [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951\(97\)00210-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00210-2).
- Jolivet M., Arzhannikov S., Arzhannikova A., Chauvet A., Vassallo R., Braucher R. Geomorphic Mesozoic and Cenozoic evolution in the Oka-Jombolok region (East Sayan ranges, Siberia) // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2013. V. 62. P. 117–133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.09.017>.
- Jolivet M., Arzhannikov S., Chauvet A., Arzhannikova A., Vassallo R., Kulagina N., Akulova V. Accommodating large-scale intracontinental extension and compression in a single stress-field: A key example from the Baikal Rift System // *Gondwana Research*. 2013. V. 24. № 3–4. P. 918–935. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2012.07.017>.
- Jolivet M., De Boisgrollier T., Petit C., Fournier M., Sankov V.A., Ringenbach J.-C., Byzov L., Miroshnichenko A.I., Kovalenko S.N., Anisimova S.V. How old is the Baikal Rift Zone? Insight from apatite fission track thermochronology // *Tectonics*. 2009. V. 28. TC3008. <http://dx.doi.org/10.1029/2008TC002404>.
- Parfeevets A.V., Sankov V.A. Late Cenozoic tectonic stress fields of the Mongolian microplate // *Comptes rendus – Geoscience*. 2012. V. 344. P. 227–238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2011.09.009>.
- Perevalova N.P., Sankov V.A., Astafyeva E.I., Zhupityaeva A.S. Threshold magnitude for Ionospheric TEC response to earthquakes // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2014. V. 108. P. 77–90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2013.12.014>.

- Petit C., Déverchère J., Houdry F., Sankov V.A., Melnikova V.I., Delvaux D. Present-day stress field changes along the Baikal rift and tectonic implications // *Tectonics*. 1996. V. 15. № 6. P. 1171–1191. <http://dx.doi.org/10.1029/96TC00624>.
- Radziminovich Ya.B., Shchetnikov A.A. Historical earthquakes studies in Eastern Siberia: State-of-the-art and plans for future // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2013. V. 62. P. 134–145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseas.2012.09.017>.
- Zonenshain L.P., Savostin L.A. Geodynamics of the Baikal rift zone and plate tectonics of Asia // *Tectonophysics*. 1981. V. 76. № 1–2. P. 1–45. [http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90251-1](http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951(81)90251-1).
- Аржанников С.Г., Аржанникова А.В. Палеосейсмогенная активизация Большеозерского сегмента Эрзино-Агардагского разлома // *Вулканология и сейсмология*. 2009. № 2. С. 56–66.
- Аржанников С.Г., Аржанникова А.В. Позднечетвертичная геодинамика Хиргиснурской впадины и ее горного обрамления (Западная Монголия) // *Геология и геофизика*. 2011. Т. 52. № 2. С. 276–288.
- Аржанникова А.В., Аржанников С.Г., Жоливе М., Вассалло Р., Шове А. Плиоцен-четвертичные деформации юго-восточной части Восточного Саяна // *Геотектоника*. 2011. № 2. С. 49–65.
- Ашурков С.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Лухнев А.В., Сорокин А.П., Серов М.А., Бызов Л.М. Кинематика Амурской плиты по данным GPS-геодезии // *Геология и геофизика*. 2011. № 2. С. 299–311.
- Быков В.Г., Бормотов В.А., Коковкин А.А., Василенко Н.Ф., Прытков А.С., Герасименко М.Д., Шестаков Н.В., Коломиец А.Г., Сорокин А.П., Сорокина А.Т., Серов М.А., Селиверстов Н.И., Магуськин М.А., Левин В.Е., Бахтиаров В.Ф., Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В., Бызов Л.М., Дучков А.Д., Тимофеев В.Ю., Горнов П.Ю., Ардюков Д.Г. Начало формирования единой сети деформационных наблюдений ДВО РАН // *Вестник ДВО РАН*. 2009. № 4. С. 83–93.
- Задонина Н.В. Анализ проявления сейсмичности в Монголо-Байкальском регионе за последние 320 лет // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2009. Т. 36. № 2. С. 47–56.
- Задонина Н.В., Леви К.Г. Хронология природных и социальных феноменов в истории мировой цивилизации. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2009. 864 с.
- Иванов А.В., Саньков В.А., Смекалин О.П., Чипизубов А.В. Оценка периодов повторяемости сильных землетрясений в зонах Главного Саянского и Тункинского разломов по данным радиоуглеродного датирования и статистического анализа // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2009. Т. 36. № 2. С. 70–80.
- Лебедева М.А., Саньков В.А., Захаров А.И., Захарова Л.Н. Активные деформации в зоне влияния разломов Мондинской впадины по данным РСА-интерферометрии // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета*. 2013. № 5 (51). С. 63–65.
- Леви К.Г. Неотектонические движения в сейсмоактивных зонах литосферы (тектонофизический анализ). Новосибирск: Наука, 1991. 168 с.
- Леви К.Г., Задонина Н.В., Язев С.А. Радиоуглеродная хронология природных и социальных феноменов Северного полушария. В 3 т. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2010. Т. I–III.
- Леви К.Г., Задонина Н.В., Язев С.А., Воронин В.И. Современная геодинамика и гелиогеодинамика: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2012. 539 с.
- Леви К.Г., Шерман С.И., Саньков В.А. Современная геодинамика Азии: карта, принципы составления, геодинамический анализ // *Геотектоника*. 2009. № 2. С. 78–93.
- Лухнев А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В., Кале Э. Вращения и деформации земной поверхности в Байкало-Монгольском регионе по данным GPS-измерений // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51. № 7. С. 1006–1017.
- Лухнев А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Ашурков С.А., Бызов Л.М., Саньков А.В., Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г., Кале Э. Современные деформации земной коры в области сочленения сегментов рифтов центральной части Байкальской рифтовой системы по данным GPS-геодезии // *Геология и геофизика*. 2013. Т. 54. № 11. С. 1814–1825.
- Новопашина А.В., Саньков В.А., Буддо В.Ю. Пространственно-временной анализ сейсмических структур Байкальской рифтовой системы // *Вулканология и сейсмология*. 2012. № 4. С. 55–64.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1977. 535 с.
- Парфеевец А.В., Саньков В.А. Напряженное состояние земной коры и геодинамика юго-западной части Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2006. 151 с.
- Парфеевец А.В., Саньков В.А. Геодинамические условия развития Тункинской ветви Байкальской рифтовой системы // *Геотектоника*. 2006. № 5. С. 61–84.
- Парфеевец А.В., Саньков В.А. Позднекайнозойские поля тектонических напряжений Западной и Центральной Монголии // *Физика Земли*. 2010. № 5. С. 3–14.
- Парфенов Л.М., Козьмин Б.М., Имаев В.С., Савостин Л.А. Тектоническая природа Олекмо-Становой сейсмической зоны // *Геотектоника*. 1987. № 6. С. 94–108.
- Радзиминович Я.Б., Мельникова В.И., Середкина А.И., Гилева Н.А., Радзиминович Н.А., Папкина А.А. Землетрясение 6 января 2006 г. (Mw=4.5): редкий случай проявления сейсмической активности в Восточном Забайкалье // *Геология и геофизика*. 2012. Т. 53. № 10. С. 1430–1444.

- Радзиминович Я.Б., Никонов А.А. «Великое Восточно-Сибирское» землетрясение 01.02.1725 г. (M=8.2): ревизия основных параметров в свете дополнительных данных и современных требований // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2013. Т. 40. № 4. С. 42–66.
- Радзиминович Я.Б., Щетников А.А. Новые данные о сейсмичности Восточного Забайкалья в историческом прошлом // *Доклады АН*. 2009. Т. 426. № 6. С. 809–812.
- Радзиминович Я.Б., Щетников А.А. Историческая сейсмичность Восточного Забайкалья // *Вулканология и сейсмология*. 2010. № 6. С. 65–78.
- Радзиминович Я.Б., Щетников А.А. Каталоги исторических землетрясений Восточной Сибири: необходимость ревизии // *Геология и геофизика*. 2011. Т. 52. № 7. С. 931–939.
- Саньков В.А., Леви К.Г., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Парфеевец А.В., Радзиминович Н.А., Мельникова В.И., Девершиер Ж., Кале Э., Пети-Мариани К., Амаржаргал С., Дельво Д. Современная геодинамика Монголо-Сибирского подвижного пояса по данным геолого-структурных и инструментальных исследований // *Тектоника и геофизика: Материалы XXXV Тектонического совещания*. М.: Геос, 2002. С. 170–174.
- Саньков В.А., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В., Бызов Л.М., Дембелов М.Г., Кале Э., Девершиер Ж. Растяжение в Байкальском рифте: современная кинематика пассивного рифтогенеза // *Доклады АН*. 2009. Т. 424. № 5. С. 664–668.
- Саньков В.А., Лухнев А.В., Парфеевец А.В., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В. Сопряженность деформаций земной коры и верхней мантии Монголо-Сибирской подвижной области // *Доклады АН*. 2011. Т. 436. № 3. С. 401–406.
- Саньков В.А., Парфеевец А.В., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В. Позднекайнозойская геодинамика и механическая сопряженность деформаций земной коры и верхней мантии Монголо-Сибирской подвижной области // *Геотектоника*. 2011. Т. 45. № 5. С. 52–70.
- Саньков В.А., Шерман С.И., Леви К.Г. Современная геодинамика: объем понятия, временной охват, концептуальные подходы // *Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе: Материалы Всероссийского совещания и молодежной школы по современной геодинамике* (г. Иркутск, 23–29 сентября 2012 г.). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. Т. 1. С. 56–60.
- Сейсмоионосферные и сейсмозлектромагнитные процессы в Байкальской рифтовой зоне* / Под ред. Г.А. Жеребцова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 304 с.
- Шерман С.И., Демьянович В.М., Лысак С.В. Сейсмический процесс и современная многоуровневая деструкция литосферы в Байкальской рифтовой зоне // *Геология и геофизика*. 2004. Т. 45. № 12. С. 1460–1472.
- Шерман С.И., Леви К.Г. Трансформные разломы Байкальской рифтовой зоны // *Доклады АН СССР*. 1977. Т. 233. № 2. С. 454–464.



Саньков Владимир Анатольевич, канд. геол.-мин. наук, зав. лабораторией современной геодинамики
Институт земной коры СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия
Тел. (3952)427903; ✉ email: sankov@crust.irk.ru

San'kov, Vladimir A., Candidate of Geology and Mineralogy, Head of Laboratory of Recent Geodynamics
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS
128 Lermontov street, Irkutsk 664033, Russia
Tel. +7(3952)427903; ✉ email: sankov@crust.irk.ru