



THE DIGITAL MAP OF THE PLIOCENE–QUATERNARY CRUSTAL FAULTS IN THE SOUTHERN EAST SIBERIA AND THE ADJACENT NORTHERN MONGOLIA

O. V. Lunina

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

Abstract: Introduction. Studying and mapping of faults in the Earth's crust is one of the priority objectives in structural geology and tectonophysics. Generally, faults are associated with mineral deposits, thermal springs and earthquakes, and fault zones are areas of the most dangerous geological processes and various geophysical anomalies. In this regard, digital maps and databases on faults and fault zones are highly demanded both for science and practical applications. This paper presents a new digital map of the southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia, which shows faults in the crust which were active in the Pliocene-Quaternary. The map covers the territory between 96–124°E to 49–58°N. An annex to this paper contains files with geospatial data on the mapped faults.

The input data, and their synthesis. We consolidated the database on faults active in the Pliocene-Quaternary stage of the crust development and mapped the faults on the basis of digital elevation models SRTM 90 m [*Consortium for Spatial Information, 2004*], space images from Landsat series satellites (Google Earth), electronic bathymetry data on Lake Baikal [*Sherstyankin et al., 2006*], topographic maps (1:200000 scale), regional and global earthquake catalogs, as well as the publications and maps based on the earlier studies of active tectonics and earthquake traces with the use of the ActiveTectonics Information System developed by the research team lead by the author of this paper [*Lunina et al., 2014b*]. For the major part of the southern East Siberia, we collected and processed our field observation data on faults and related deformation features (Fig. 1). The geographic locations of the faults were mapped with the use of MapInfo GIS. The precise detection of tectonic faults, topographically represented by river lineaments and benching, was ensured by the synthesis of cartographic, literature and field materials. A significant number of the detected lineaments, that were not confirmed by any data due to the poor knowledge of some regions in the southern East Siberia and the adjacent territories, are included in the database with a special mark and shown on the map as inferred faults.

Results and discussion. The digital map (Fig. 2) shows 1678 faults composed of 2315 segments, including 1097 true, and 1218 inferred ones, identified by the fault strike changes or fragmentation. Using the consolidated fault database, we constructed maps showing fault segments differing in the degree of activity (Fig. 3), displacement types (Fig. 4 and 7), and ages of the last activations (Fig. 8). Besides, we constructed a map of seismically active faults that can generate $M \geq 5.5$ earthquakes. The analysis of the thematic maps of faults gives grounds to conclusions that have been either partly supported or controversial, yet now are based on the factual justification of the faults in the ActiveTectonics Information System database. It is shown that the Baikal rift zone is bordered in the southwest by the Busiyngol basin and the West Belino-Busiyngol fault, and in the northeast by the Olyokma and Nyukzha faults located in the basins of the same-name rivers. In the areas located westward and eastward of these boundaries, the rift regime (crustal stretching, extension with strike-slip faulting, and shearing) is abruptly changed to transpression. In general, similar activation features are typical of the southern East Siberia in the Holocene and the present time. Such features include seismogenic activation episodes when mainly the faults of the NE–SW and sublatitudinal strike are renovated – normal faults, left-lateral normal faults with a strike-slip component, left-lateral strike-slip faults, left-lateral strike-slip faults with a normal component, and left-lateral strike-slip faults with a reverse component. The NE-striking faults are insignificant to the west of 98° meridian.

Conclusion. The digital fault map (Fig. 2) and the thematic maps (Fig. 3, 4, 7, 8 and 9) can be used as a tectonic basis for the synthesis of geological, geophysical, hydrogeological and geodetic data in studies aimed at forecasting of hazardous endogenic and exogenic geological processes. The undoubted advantage of this digital fault map over other regional fault maps is its integrated mapping framework that consolidates a large amount of data (collected mostly by the Siberian scientists) in the uniform information space. Newly gathered data can be input in the map's database that is available for off-line viewing on html-pages.

Key words: fault; Pliocene–Quaternary; GIS technologies; southern East Siberia

Recommended by E.A. Rogozhin

For citation: Lunina O.V. 2016. The digital map of the Pliocene-Quaternary crustal faults in the southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia. *Geodynamics & Tectonophysics* 7 (3), 407–434. doi:10.5800/GT-2016-7-3-0215.

Для цитирования: Лунина О.В. Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии // *Геодинамика и тектонофизика*. 2016. Т. 7. № 3. С. 407–434. doi:10.5800/GT-2016-7-3-0215.

ЦИФРОВАЯ КАРТА РАЗЛОМОВ ДЛЯ ПЛИОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНОГО ЭТАПА РАЗВИТИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И СОПРЕДЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ

О. В. Лунина

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

Аннотация: Введение. Изучение и картирование разломов земной коры – одна из приоритетных задач структурной геологии и тектонофизики. С разломами связаны месторождения полезных ископаемых, термальные источники и землетрясения. В их зонах наиболее проявлены опасные геологические процессы и различные геофизические аномалии. В связи с этим существует огромная потребность в картах и базах данных разломов, выполненных в цифровом виде и удобных для применения в различных областях. В статье представлены новая карта и база данных разломов для плиоцен-четвертичного этапа активизации земной коры юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии в рамках координат 96–124° в.д. и 49–58° с.ш. с возможностью использования геопространственных данных о разломах, прилагаемых к статье в виде дополнительных файлов.

Исходные материалы и их синтез. Для составления карты и сопутствующей базы данных разломов, активных на плиоцен-четвертичном этапе развития земной коры, использованы цифровые модели рельефа SRTM 90 м [*Consortium for Spatial Information, 2004*], космические снимки со спутников серии «Landsat» (Google Earth), электронная батиметрия оз. Байкал [*Sherstyankin et al., 2006*], топографические основы масштаба 1:200000, региональный и мировые каталоги землетрясений, а также литературный и картографический материал по предшествующему изучению активной тектоники и следов землетрясений, представленный в информационной системе «ActiveTectonics», разработанной под руководством автора статьи [*Lunina et al., 2014b*]. Для значительной территории юга Восточной Сибири собраны и обработаны полевые данные о разрывных нарушениях и сопутствующих деформациях (рис. 1). Составление карты на основе ГИС MapInfo обеспечило точную географическую привязку разломов, а синтез различных картографических, литературных и полевых материалов – достоверность выделенных тектонических нарушений, проявляющихся на топоосновах речными линеаментами и уступами. Значительное число выделенных линеаментов, не подтвержденных какими-либо данными вследствие слабой изученности некоторых участков юга Восточной Сибири и сопредельных территорий, нашли свое отражение на карте в качестве предполагаемых разломов с особой отметкой в базе данных.

Результаты и их обсуждение. Цифровая карта на описываемую территорию включает 1678 разломов, состоящих из 2315 сегментов (рис. 2), которые выделяются на основании изменения простираения разлома или его разделения на отдельные фрагменты. Среди разломных сегментов 1097 являются достоверными, 1218 – предполагаемыми. На основе сопутствующей базы данных были построены карты, на которых разломные сегменты разделены по степени активности (рис. 3), типу смещений (рис. 4 и 7) и возрасту последней активизации (рис. 8). Кроме того, составлена карта сейсмоактивных разломов, способных генерировать землетрясения с $M \geq 5.5$. Анализ тематических карт разломов позволил сделать ряд заключений, которые отчасти были известны или спорны, но сейчас имеют под собой фактологическую основу в виде обоснования характеристик разломов в базе данных информационной системы «ActiveTectonics». Показано, что юго-западная граница Байкальской рифтовой зоны проходит вдоль Бусийнгольской впадины и Западного Белино-Бусийнгольского разлома, северо-восточная – вдоль Олёкминского и Нюкжинского разломов, расположенных в бассейнах одноименных рек. Западнее и восточнее указанных тектонических границ происходит резкая смена рифтового режима развития, который может характеризоваться растяжением, растяжением со сдвигом и сдвигом (при условии их закономерного соседства в пространстве), на транспрессионный. Для голоцена и настоящего времени для юга Восточной Сибири в целом характерны единые особенности активизации, в том числе и сейсмогенной, когда обновляются преимущественно разломы СВ–ЮЗ и субширотного простираения, к которым относятся сбросы, левые сдвиги-сбросы, левые сдвиги, левые сбросо-сдвиги, левые взбросо-сдвиги. Западнее меридиана 98° северо-восточные разломы перестают быть значимыми.

Заключение. Представленные базовая (рис. 2) и тематические карты (рис. 3, 4, 7–9) разломов в цифровом виде могут быть использованы как тектонические основы для обобщения геологических, геофизических,

гидрогеологических и геодезических данных в целях прогнозирования опасных эндогенных и экзогенных геологических процессов. Безусловным преимуществом базовой карты перед другими региональными картами разломов является ее комплексная основа, объединяющая большое количество данных, собранных в основном сибирскими учеными и объединенных в едином информационном пространстве. Карта сопровождается базой данных, которая может пополняться при получении новой информации и просматриваться на html-страницах в режиме off-line.

Ключевые слова: разлом; плиоцен-четвертичный этап; ГИС-технологии; юг Восточной Сибири

On-line supplementary materials: A set of digital maps of faults in the southern East Siberia and the North Mongolia prepared in MapInfo GIS / DigitalMaps.zip

Дополнительные материалы (on-line): Набор цифровых карт разломов юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии в формате GIS MapInfo / DigitalMaps.zip

1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение и картирование разломов земной коры – одна из приоритетных задач структурной геологии и тектонофизики. С разломами связаны месторождения полезных ископаемых, термальные источники и землетрясения. В их зонах наиболее проявлены опасные геологические процессы и различные геофизические аномалии. Трудно переоценить значение этих структур в решении широкого круга проблем геологии и смежных наук. В связи с этим существует огромная потребность в картах и базах данных разломов, выполненных в цифровом виде и удобных для применения в различных областях. Более того, цифровое геокартирование стало необходимым видом региональных геологических работ в настоящее время [Nikishin et al., 2007].

Вместе с тем составление карт разломов, основанных на комплексных региональных съемках, представляет собой ответственную задачу. Это предполагает обобщение материалов, полученных при более детальных исследованиях, а также рассмотрение уже существующих карт, которые могут значительно различаться между собой. Для региона юга Восточной Сибири и сопредельных территорий существует более двухсот публикаций [Solonenko, 1965, 1979, 1981; Bulnaev et al., 1975; Sherman, 1977; Ruzhich, 1972, 1980, 1997; Zamaraev et al., 1979; Sherman et al., 1973, 1980, 1992; Logachev, 1984; Bulgatov et al., 1978; Solonenko, Mandelbaum, 1985; Khilko et al., 1985; Khrenov, 1982; Sankov et al., 1991; San'kov et al., 2000; Seminsky, 2003; Seminsky et al., 2005; Lunina et al., 2009, 2012a, 2015; Parfeevets, San'kov, 2006; Arzhannikova, Arzhannikov, 2014; Chipizubov, 2007; и мн. др.], в которых представлены результаты исследований различных аспектов разломной тектоники, но лишь некоторые из них посвящены со-

ставлению карт разломов для позднекайнозойского этапа развития земной коры [Levi et al., 1995, 1996, 1997, 2002]. На одной из них [Levi et al., 1995] показаны активные тектонические элементы Байкальской котловины и прилегающей территории, установленные по геоморфологическим, сейсмоакустическим и структурно-геологическим данным, собранным на берегах оз. Байкал. На другой [Levi et al., 1996] отражены главнейшие разломы Восточной Сибири и Монголии, активизированные в кайнозое. В силу определенного этапа развития науки эти карты были выполнены только на бумажной основе.

Карта активных разломов Евразии [Trifonov, 2004; Trifonov et al., 2002], сопровождающаяся базой данных в электронном виде [Ioffe, Kozhurin, 1996], стала первой цифровой картографической разработкой, выполненной с использованием геоинформационных технологий. Это был значительный прогресс в геологии. Позднее для Байкальской рифтовой зоны была представлена карта разломов, которая содержит сводку всех известных по геологическим данным разрывных нарушений в ГИС Digital Faults, разделенных по количественному индексу сейсмичности [Sherman, 2009]. Совсем недавно для построения нормативных карт общего сейсмического районирования в формате программ ArcView и ArcInfo была создана карта сейсмотектоники юга Восточной Сибири, на которой представлены наиболее крупные сейсмолинеаменты [Imaev et al., 2015].

Для других регионов мира в последние два десятилетия создавались интерактивные карты и базы данных активных разломов и сейсмогенных источников, информация о которых визуализируется на веб-страницах в режиме on-line. Наиболее продвинутые результаты в этом направлении получены в

Италии [Basili et al., 2008], США [U.S. Geological Survey, 2006], Японии [A.I.S.T., 2007], Новой Зеландии [GNS Science Ltd., 2004], Греции [Caputo et al., 2012, 2013] и Китае [Yu Gui-hua et al., 2012]. Полная сводка веб-страниц с базами данных активных разломов представлена на сайте: <http://diss.rm.ingv.it/diss/index.php/help/57-databases-of-active-and-seis-mogenic-faults-in-the-world>.

В России подобная база разработана в составе информационной системы «ActiveTectonics», ориентированной на обобщение в цифровом виде данных о разломах, косейсмических эффектах и других взаимосвязанных объектах с целью прогнозирования опасных геологических процессов, связанных с деструкцией земной коры [Gladkov et al., 2013]. В рамках информационной системы для территории, ограниченной координатами 100–114° в.д. и 50–57° с.ш., была создана карта и база данных плиоцен-четвертичных разломов юга Восточной Сибири [Lunina et al., 2014b], а также база данных косейсмических эффектов для более обширной площади, заключенной в координатах 80–124° в.д. и 42–62° с.ш. [Lunina et al., 2014a]. Информация из этих баз данных может быть получена на веб-страницах, но пока в режиме «off-line» на компьютере пользователя.

С тех пор как была выпущена первая версия упомянутой карты и базы данных разломов [Lunina et al., 2014b], автором была расширена территория картирования. К настоящему времени она охватывает площадь от 96 до 124° в.д. и от 49 до 58° с.ш. Цель настоящей статьи – представить новую карту и базу данных разломов для плиоцен-четвертичного этапа активизации земной коры (последние 3 млн лет) юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии с возможностью использования данных о положении разломов в цифровом виде в форматах ГИС. Выбор этого временного периода неслучаен. Дизъюнктивы, сформированные или активизированные в это геологическое время, являются наиболее важными, так как они оказывают влияние на развитие опасных геологических процессов, инициированных землетрясениями. Зоны таких нарушений, как правило, интенсивно дислоцированы, что благоприятно при соответствующих геолого-геоморфологических условиях для возникновения сейсмогравитационных движений, разжижения и других процессов и явлений. Многие из разломов являются сейсмогенерирующими, что отмечено в базе данных. Кроме того, плиоцен-четвертичный период – это время, когда на юге Восточной Сибири орогенез проявился наиболее ярко, о чем свидетельствует смена режима осадконакопления в БРЗ [Logachev, 2003], увеличение скорости роста Тункинского хребта после 5.8 млн лет [Lunina et al., 2009] и вертикальных скоростей движений вдоль разломов [Jolivet et al., 2013].

2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СИНТЕЗ

Для составления карты и сопутствующей базы данных разломов, активных на плиоцен-четвертичном этапе развития земной коры, использованы цифровые модели рельефа SRTM 90 м [Consortium for Spatial Information, 2004], космические снимки со спутников серии “Landsat” (Google Earth), электронная батиметрия оз. Байкал [Sherstyankin et al., 2006], топографические основы масштаба 1:200000, региональный и мировые каталоги землетрясений, а также литературный и картографический материал по предшествующему изучению активной тектоники и следов землетрясений, представленный в информационной системе «ActiveTectonics». Для значительной территории юга Восточной Сибири, включая суходольные впадины Байкальской рифтовой зоны в пределах РФ, побережье оз. Байкал, Гусиноозерскую и Иволгино-Удинскую депрессии Западного Забайкалья, а также часть Сибирской платформы, были собраны и обработаны полевые данные о разрывных нарушениях и сопутствующих деформациях (рис. 1).

Особенности примененного подхода к полевому геолого-структурному изучению и картированию разрывов подробно описаны в работах [Seminsky et al., 2005; Lunina et al., 2009]. Здесь уместно остановиться только на некоторых моментах, которых должно быть достаточно для понимания исходных данных, заложенных в основу карты. Нами создавались профили и площадные сети точек геолого-структурных наблюдений, в каждой из которых проводился комплекс работ, включающий наблюдения за характером тектонической раздробленности и особенностями строения зон разрывных нарушений, детальное изучение трещиноватости с измерением и оценкой взаимоотношений основных систем трещин, описание геоморфологических проявлений разрывов и форм блоковых отделеностей, изучение геологического субстрата, определяющего плотность трещиноватости, документацию смещений маркеров, складок, штрихов на зеркалах скольжения и т.п. Данный комплекс работ на обнажении сопровождался измерением объемной плотности трещин на 1 м³ и их количества на 1 м², фотосъемкой стенок коренного выхода и массовыми замерами трещин с характеристикой их генетического типа (скол, отрыв, неясный) и размера (мелкие <0.5 м, средние 0.51–2.00 м, крупные >2 м). При изучении трещиноватости в древних толщах измерялись только «свежие» на вид разрывы, не залеченные минеральным веществом, нередко несущие следы подвижек в виде зеркал скольжения, а также смещений маркеров.

При изучении разломов плиоцен-четвертичного этапа активизации ключевую роль играла харак-

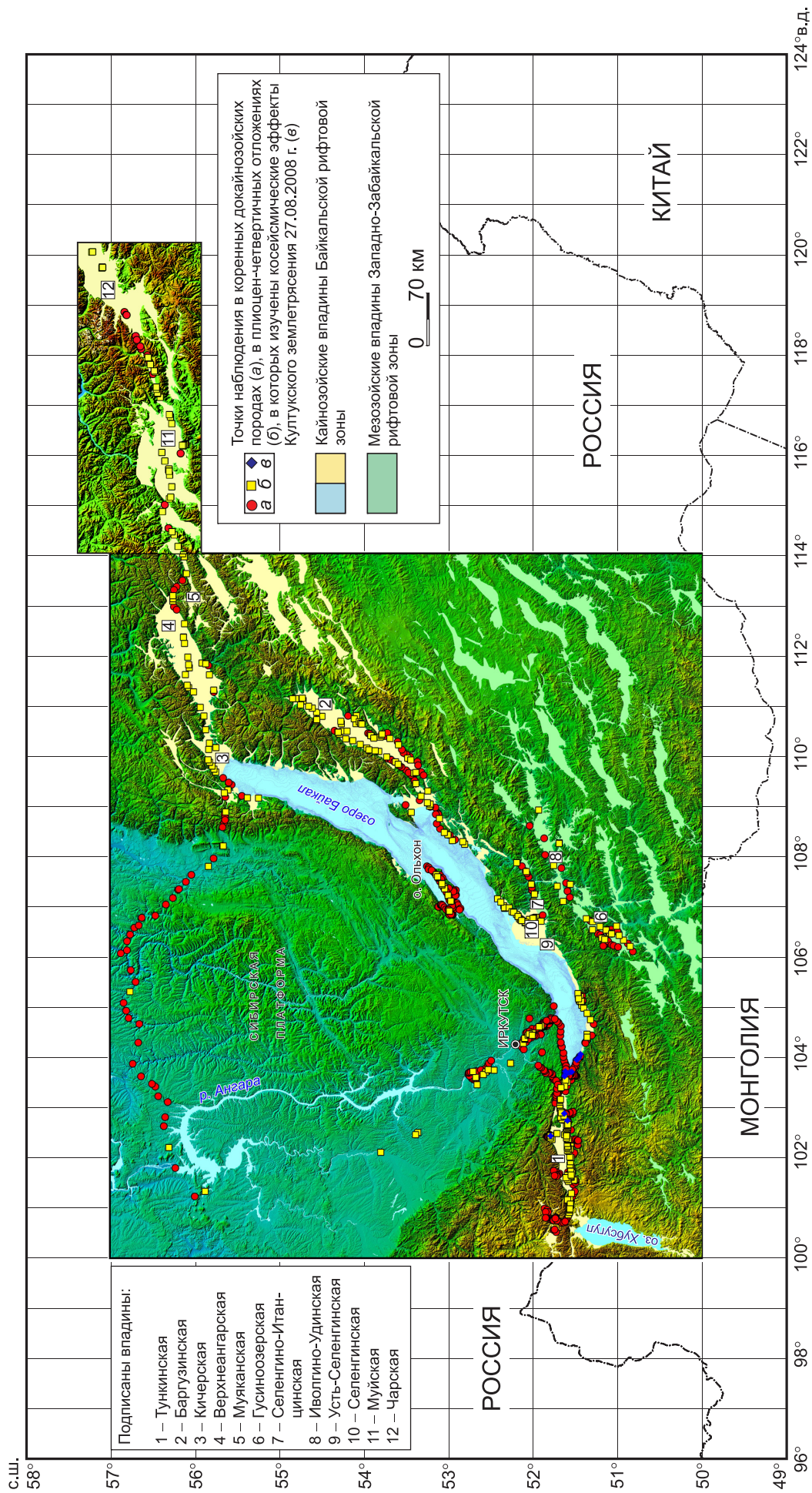


Рис. 1. Территория исследований с наложенной цифровой моделью рельефа на площадь в пределах которой автором были проведены полевые структурно-геологические наблюдения и построена первая версия цифровой карты разломов в рамках координат 100–114° в.д. и 50–57° с.ш.

Fig. 1. The scheme of the study area. The digital elevation model covers the territory between 100–114° E and 50–57° N, for which the author developed an original digital map (Revision 1) on the basis of the structural and geological field observation data.

теристика тектонических деформаций (сколовых трещин, зон разрывов, кластических даек, складок и/или сейсмогенных конволюций) в позднекайнозойских отложениях, поэтому точки наблюдения создавались как в коренных, так и в слабосцементированных и рыхлых породах. При этом выполнялись следующие рекомендации [Lunina, 2015]: 1) площадное или профильное структурно-геологическое изучение разрезов слабосцементированных и рыхлых осадков, предусматривающее создание по возможности равномерной сети точек наблюдений; 2) документация всех наблюдаемых деформационных структур в разрезе с учетом критериев, указывающих на их тектонический генезис; 3) учет особенностей проявления деформационных структур различного типа в зависимости от степени литификации пород, их гранулометрического состава и мест локализации (характера распространения) по отношению к главному сместителю разлома (линейный), зоне его динамического влияния (линейно-площадной), блокам и разломам (площадной); 4) геолого-структурный анализ линейно ориентированных деформационных структур и элементов залегания разрывов и их обязательное сопоставление с данными, полученными для коренных пород. Выполнение данных рекомендаций позволяет проследить разломы в пределах больших расстояний и качественно картировать их во внутренних частях впадин. Определение элементов залегания зон тектонических нарушений в рыхлых отложениях и принципы их трассирования аналогичны тем, которые применяются при геолого-структурном картировании в скальных породах.

Материалы, имеющиеся в цифровом виде (в т.ч. [Trifonov et al., 2002; Imaev et al., 2015], оцифрованная карта разломов юга Восточной Сибири [Khrenov, 1982], авторские полевые данные), были по-слойно сведены в единую систему координат в программе «MapInfo Professional 10+» и критически проанализированы с учетом данных в уместных публикациях. При вводе итогового положения разлома учитывались данные морфотектонического анализа рельефа, а с помощью разработанного программного приложения «ActiveTectonics» [Gladkov et al., 2013; Lunina et al., 2014b] для каждого сегмента разрывного нарушения в специальные окна вводились известные параметры согласно приложению А. Таким образом, помимо карты, впервые была создана региональная база данных активных в плиоцен-четвертичное время разломов, в которой сведения о них содержатся в атрибутивных таблицах, текстовых и графических файлах, взаимосвязанных через специальный идентификатор. Программа «Global Mapper» позволяет экспортировать tab-файлы «MapInfo Professional» в формат «shp», воспринимаемый большинством ГИС, и в

формат «kml», воспринимаемый бесплатным приложением «Google Планета Земля», благодаря чему данные о положении разломов в цифровом виде и часть атрибутивной информации могут быть доступны для широкого круга специалистов. Просмотр данных в html-формате, более удобном для визуализации всей информации базы данных, включая литературные источники, комментарии и иллюстрации, возможен с помощью программы «MapInfo» Professional 10+ и информационной системы «ActiveTectonics», которая может быть предоставлена автором заинтересованным пользователям.

Используемый методический подход на основе ГИС обеспечил точную географическую привязку разломов, а синтез различных картографических, литературных и полевых материалов – достоверность выделенных тектонических нарушений, проявляющихся на топоосновах речными линеамен-тами и уступами, которые не всегда отражают разломы [Koronovsky et al., 2014]. Тем не менее значительное число выделенных линеаментов, не подтвержденных какими-либо данными вследствие слабой изученности некоторых участков юга Восточной Сибири и сопредельных территорий, нашли свое отражение на карте в качестве предполагаемых разломов с особой отметкой в базе данных.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Цифровая карта и сопутствующая ей база данных на описываемую территорию включают 1678 разломов, состоящих из 2315 сегментов (рис. 2), которые выделены на основании изменения простиранья разлома или его разделения на отдельные фрагменты. Среди разломных сегментов 1097 являются достоверными, 1218 – предполагаемыми. За редким исключением, все разломы отчетливо выражены в рельефе уступом, линейной долиной или линеаментом гидросети (серией мелких подобных элементов, закономерными смещениями русел рек). Достоверные дизъюнктивы, помимо выраженности в рельефе, подтверждены как минимум одним из нижеперечисленных прямых признаков: зонами разрывных нарушений и/или хорошо выраженными системами трещин определенного направления в коренных, слабосцементированных и/или рыхлых породах; сейсмогенными деформациями; линейным выстраиванием вдоль предполагаемого разлома группы эпицентров землетрясений с $K_p \geq 10$; разломными сместителями, наблюдаемыми с подводных аппаратов; сейсмоакустическими данными о смещении осадков. В исключительных случаях разлом, активный в плиоцен-четвертичный период, в рельефе и гидросети

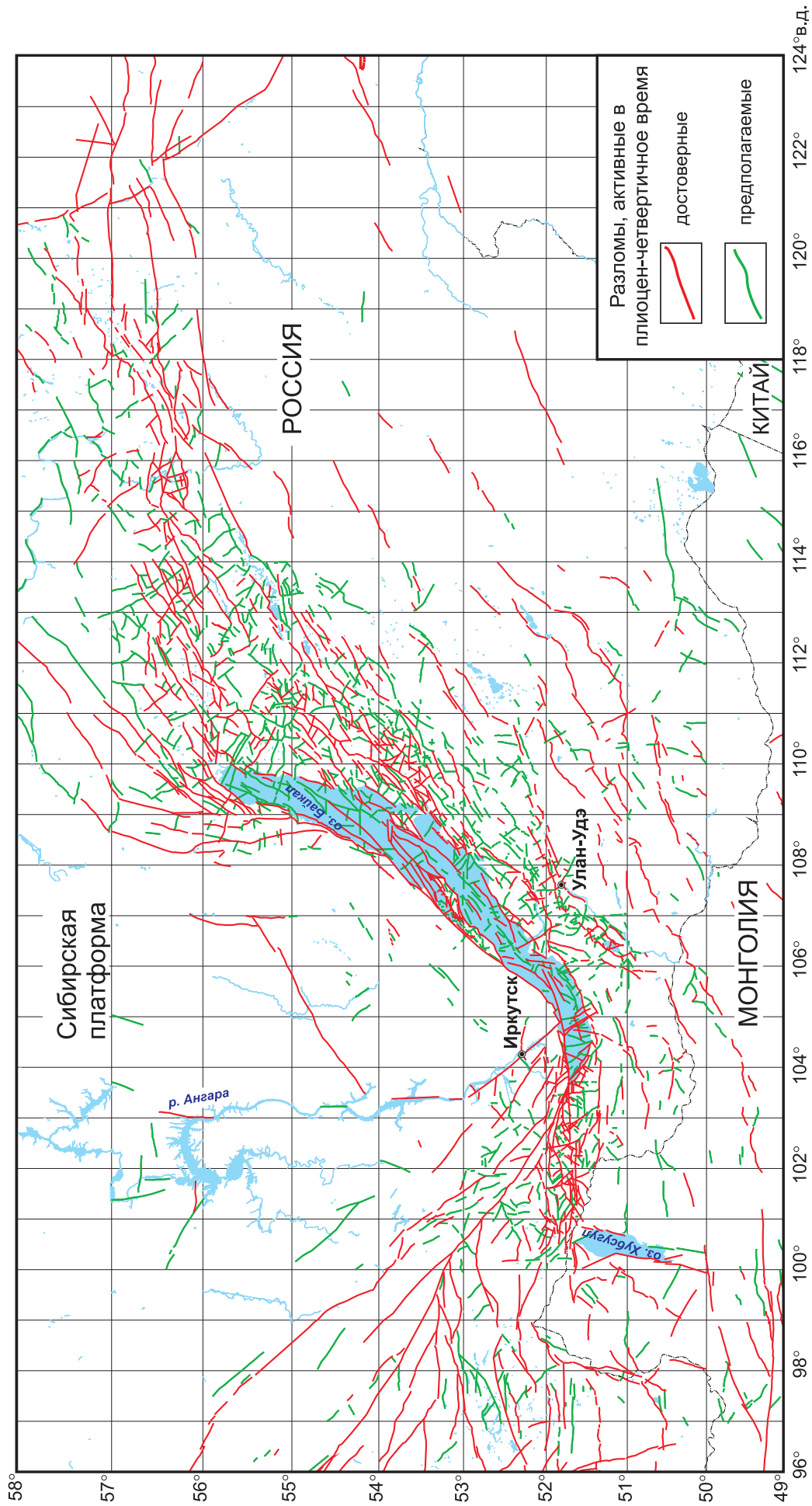


Рис. 2. Цифровая карта активных в плиоцен-четвертичное время разломов юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии (файлы, содержащие разломы и некоторую базовую информацию о них в форматах kml и shp, прилагаются к статье).

Fig. 2. Digital map of the southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia, showing faults that were active in the Pliocene-Quaternary (information on the faults is given in kml- and shp-files in the annex to this paper).

мог быть не выражен, но его наличие подтверждалось геолого-структурными наблюдениями в рыхлых и слабосцементированных породах. Для обоснования предполагаемого разлома в качестве дополнительного критерия учитывались косвенные инженерно-геологические, гидрологические и геофизические признаки активности. Важным методологическим отличием от всех предыдущих построений было то, что нанесение разломов на карту проводилось сразу в ГИС-проекте, что обеспечило их точную географическую привязку. Это дало возможность существенно уточнить положение некоторых дизъюнктивов, отраженных на предшествующих картах.

Сопутствующая база данных позволила провести анализ различных характеристик разломов с целью установления закономерностей их пространственного и временного распределения в позднем кайнозое на юге Восточной Сибири. И хотя не все включенные в базу данных разломные сегменты имеют параметры, такой анализ был необходим для понимания региональных особенностей геологического развития юга Восточной Сибири в плиоцен-четвертичное время и актуален для долгосрочного прогноза землетрясений и возникающих при этом природных опасностей.

3.1. Активность разломов по комплексу геолого-геофизических данных

Оценка степени активности разрывных нарушений основана на использовании входных параметров разломов, занесенных в базу данных согласно приложению А, и применению условных баллов, присваиваемых за прямые и косвенные признаки их активности [Lunina, 2010]. Эти баллы близки к экспертным оценкам, которые обычно используются для оценки геодинамической опасности территорий [Koff, Lobatskaya, 1991; Sherman et al., 2003]. Однако в настоящей методике они присваиваются не на основе мнения экспертов, а за определенно установленные критерии, часть из которых выражены в количественной форме. Таким образом, предложенный подход был в какой-то степени формализован.

На рисунке 3 представлена карта разломов юга Восточной Сибири и Северной Монголии, характеризующихся разной степенью активности. Она составлена на основе выборок разломных сегментов из базы данных. Видно, что большинство из них (75 %) обладают слабой степенью активности (1–5 баллов), что в какой-то мере обусловлено недостатком информации о разломах. Минимальное значение активности равно 1, максимальное – 32, среднее – 3.5. Разломы, характеризующиеся средней степенью активности (6–10 баллов), составля-

ют 17.3 %. Оставшиеся 7.7 % приходятся на дизъюнктивы с повышенной (11–20 баллов), высокой (21–30 баллов) и аномально высокой (более 30 баллов) степенью активности. Именно эти структуры наиболее подходящи для развития в их зонах опасных геологических процессов и явлений, таких как склоновые движения, просадки, разжижения, разрывообразование, геофизические аномалии. Характерно то, что результаты расчетов процентных соотношений разломов с разной степенью активности близки к результатам, полученным ранее для других площадей юга Восточной Сибири [Lunina, 2010, 2015].

В целом установлено, что область локализации разломов со степенью активности >10 баллов развивается вдоль южной окраины Сибирской платформы и впадин Байкальской рифтовой зоны и совпадает с осевыми линиями современной деформации литосферы, выделенными ранее по сейсмологическим данным [Sherman, 1996]. Западнее Тункинской впадины Байкальской рифтовой зоны структурный план сильно меняется и наиболее активные разломы уже не концентрируются в узкой зоне, а скорее ограничивают намечающиеся подвижные блоки земной коры в более обширном пространстве.

Среди всех разрывных нарушений особо следует выделить разломы со степенью активности >20 баллов. К ним относятся Мондинский, Хойтогольский, Окино-Жомболокский, Главный Саянский, Обручевский, Сахалин-Энхалукский, Дельтовый, Южно-Святоносский, Амнундинский, Муяканский, Намаракитский, Сюльбанский и Ханийский разломы, а также сегменты Болнайского, Каахемского, Белино-Бусийнгольского Восточного, Цэцэрлэгского, Тункинского, Приморского, Морского (Ольхонского), Баргузинского, Кичерского, Верхнеангарского (Северо-Муйского), Огней-Уклоньского, Верхнемуйского и Южно-Муйского разломов (рис. 3). Именно в зонах этих дизъюнктивов в первую очередь следует вести геолого-геофизический мониторинг сейсмичности и опасных геологических процессов.

Несмотря на то, что проведенный анализ сильно зависит от степени изученности разломов и собранной о них информации в базе данных, он дает действительно на настоящий момент представление об активности структур и опасных геологических явлениях, которые уже происходили в их зонах и могут происходить в будущем.

3.2. Тип смещений по разломам и их ориентировка

Классификация разломов по преобладающему типу смещений показала, что в пределах рассматриваемой территории чуть более половины всех

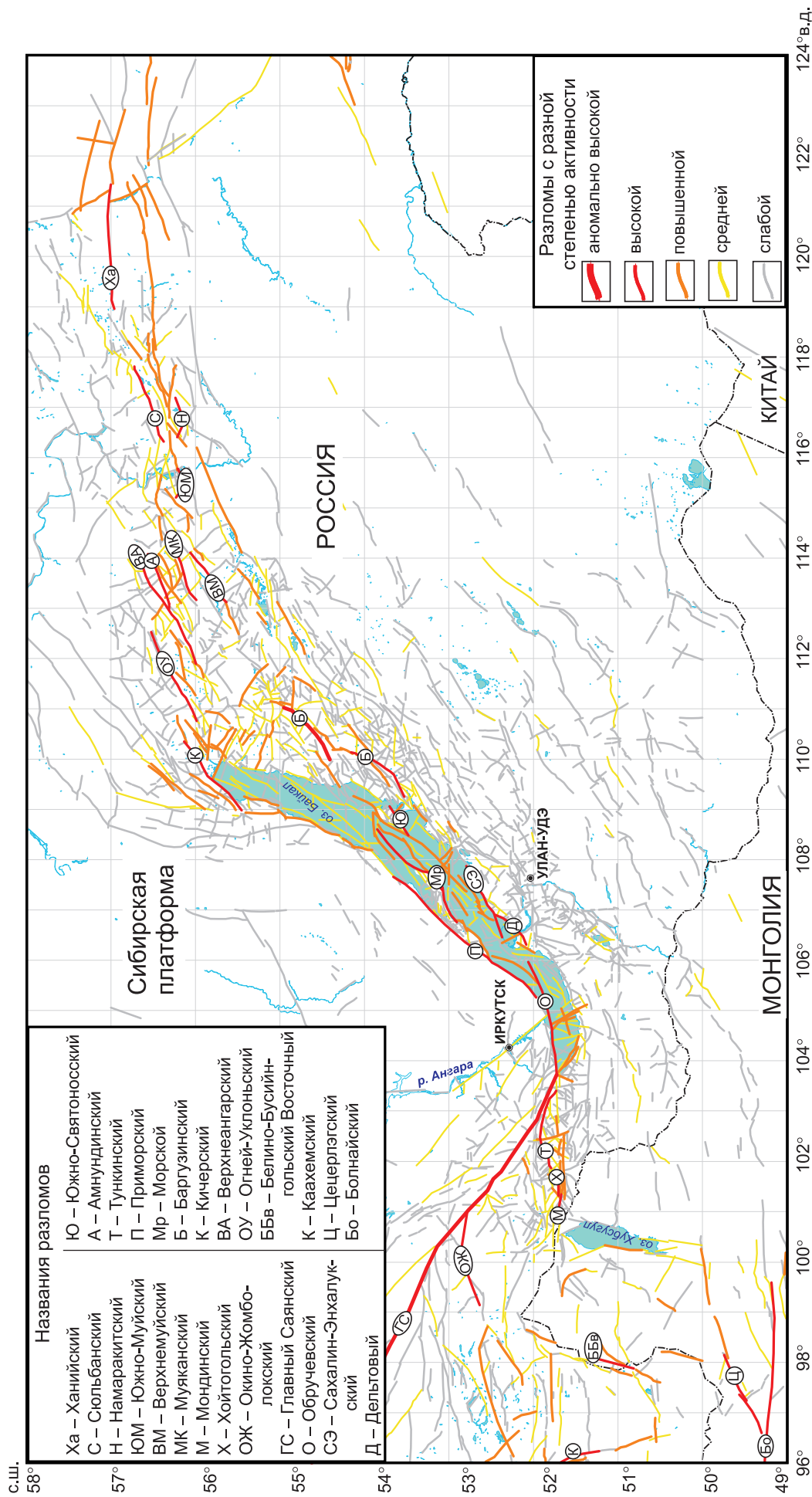


Рис. 3. Карта плиоцен-четвертичных разломов юга Восточной Сибири, дифференцированных по степени активности. Обозначены разломы со степенью активности >20 баллов.

Fig. 3. Digital map of the southern East Siberia, showing the Pliocene-Quaternary faults differentiated by the degree of activity. Marked are faults with the degree of activity above 20 points.

сегментов с установленной подвижкой приходится на сбросы (рис. 4). Второе место по результатам данного анализа принадлежит левым сдвигам, третье – левым сдвиго-сбросам. В целом распределение разломных сегментов по типу смещений в порядке убывания наглядно можно видеть на гистограмме (рис. 5). По сравнению с подобным статистическим анализом, выполненным ранее для территории юга Восточной Сибири в рамках координат $100\text{--}114^\circ$ в.д. и $50\text{--}57^\circ$ с.ш. [Lunina, 2015], уменьшилась доля сбросов (с 65.0 до 54.8 %) и левых сдвиго-сбросов (с 9.0 до 8.2 %). В свою очередь, увеличилась доля левых сдвигов (с 7.0 до 10.6 %), левых сбросо-сдвигов (с 5.0 до 5.8 %), левых взбросо-сдвигов (с 1.6 до 4.0 %), правых взбросо-сдвигов (с 0.2 до 1.1 %) и взбросов (с 4.0 до 6.2 %). Это связано с тем, что площадь картирования разломов расширилась на запад, юг и восток от оз. Байкал, где доминируют переходные трансензионные и транспрессионные режимы развития.

Четкая закономерность обнаруживается в направлении разломов разного кинематического типа по отношению к частям света (рис. 6). Сбросы имеют доминирующее СВ простирание ($40\text{--}59^\circ$); левые сдвиго-сбросы – ВСВ ($70\text{--}89^\circ$), левые сдвиги и левые сбросо-сдвиги – субширотное ($80\text{--}89^\circ$ и $270\text{--}279^\circ$), левые взбросо-сдвиги – ВСВ ($60\text{--}89^\circ$) и ЗСЗ ($270\text{--}289^\circ$), взбросы – СЗ ($300\text{--}309^\circ$), правые взбросо-сдвиги – ($310\text{--}319^\circ$ и $330\text{--}339^\circ$), правые сдвиго-сбросы – ССВ ($0\text{--}29^\circ$), правые сдвиги – субмеридиональное ($0\text{--}9^\circ$), правые сбросо-сдвиги – СЗ ($310\text{--}339^\circ$), ССВ ($0\text{--}29^\circ$) и СВ ($60\text{--}79^\circ$). В сущности, такая комбинация дизъюнктивов разного кинематического типа отражает региональный парагенез разломных структур, активизированных в течение позднего кайнозоя под воздействием доминирующего на большей части рассматриваемой территории СЗ–ЮВ растяжения и СВ–ЮЗ сжатия, которые в зависимости от наклона осей главных нормальных напряжений по отношению к горизонту определили особенности количественного и пространственного распределения разрывных нарушений с разными типами подвижек.

Пространственное распределение разломов разного кинематического типа демонстрирует рис. 4. Сбросы и сдвиго-сбросы особенно плотно располагаются в центральной части Байкальской рифтовой зоны и в Западном Забайкалье. При этом, если рассматривать чистые сбросы без сдвиговой компоненты, то фактически область растяжения на юго-западе заканчивается в районе истока р. Ангары, переходя в область растяжения со сдвигом. Левосторонние сдвиги и сбросо-сдвиги встречаются по всей территории юга Восточной Сибири, но их количество и длина увеличиваются при удалении на юго-запад и северо-восток. Правосторонние

сдвиги и сбросо-сдвиги распространены сравнительно меньше. Взбросы, сдвиго-взбросы и взбросо-сдвиги располагаются по периферии Сибирской платформы в границах перехода от флангов Байкальской рифтовой зоны, в межвпадинных перемычках и собственно за пределами зоны растяжения.

В целом, карта, на которой разломы классифицированы по преобладающему типу подвижки, четко обозначает границы Байкальской рифтовой зоны и области, развивающиеся в различных геодинамических обстановках. Юго-западная граница рифтовой зоны проходит вдоль Бусийнгольской впадины (см. рис. 4), северо-восточная – вдоль Олёкминского и Нюкжинского разломов, расположенных в бассейнах одноименных рек.

Приведенные данные по разломам хорошо согласуются с известными механизмами очагов землетрясений с магнитудой более 5 (рис. 7, таблица). Последние также ясно показывают, что граница между областью со сдвиговым режимом развития и сдвигом с растяжением в юго-западной части рассматриваемой площади проходит севернее оз. Хубсугул, по Мондинскому разлому (см. положение разлома на рис. 3). Фактически Хубсугульская, Дархатская и Бусийнгольская впадины на территории Монголии (см. положение впадин на рис. 4) развиваются в сдвиговом поле напряжений, хотя некоторые из ограничивающих их субмеридиональных разломов считаются сбросами. Западнее Бусийнгольской впадины и восточнее Олёкминского и Нюкжинского разломов происходит резкая смена рифтового режима развития на транспрессионный. Примечательно то, что это изменение происходит вдоль разломов субмеридионального, северсеверо-западного и северо-западного простирания. Надо отметить, что существенная структурная перестройка в зоне Олекминской системы глубинных разломов северо-северо-западного простирания, обновленных в процессе новейшей активизации, была отмечена ранее П.С. Карасёвым [Karasyov, 2009].

Кроме описанных общих закономерностей, данный анализ однозначно показал, что на юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны в четвертичное и настоящее время доминируют тектонические режимы сдвига и сдвига с растяжением, как это и было установлено в 70–80-е годы прошлого столетия [Sherman, Levi, 1978; Sherman, Dneprovsky, 1989], а не сдвига и транспрессии, как это предполагалось в более поздних работах [Parfeevets, San'kov, 2006]. Важно, что полученные данные о преобладающих режимах тектонического развития хорошо согласуются с результатами районирования типов современного напряженного состояния земной коры Байкальской рифтовой зоны, прове-

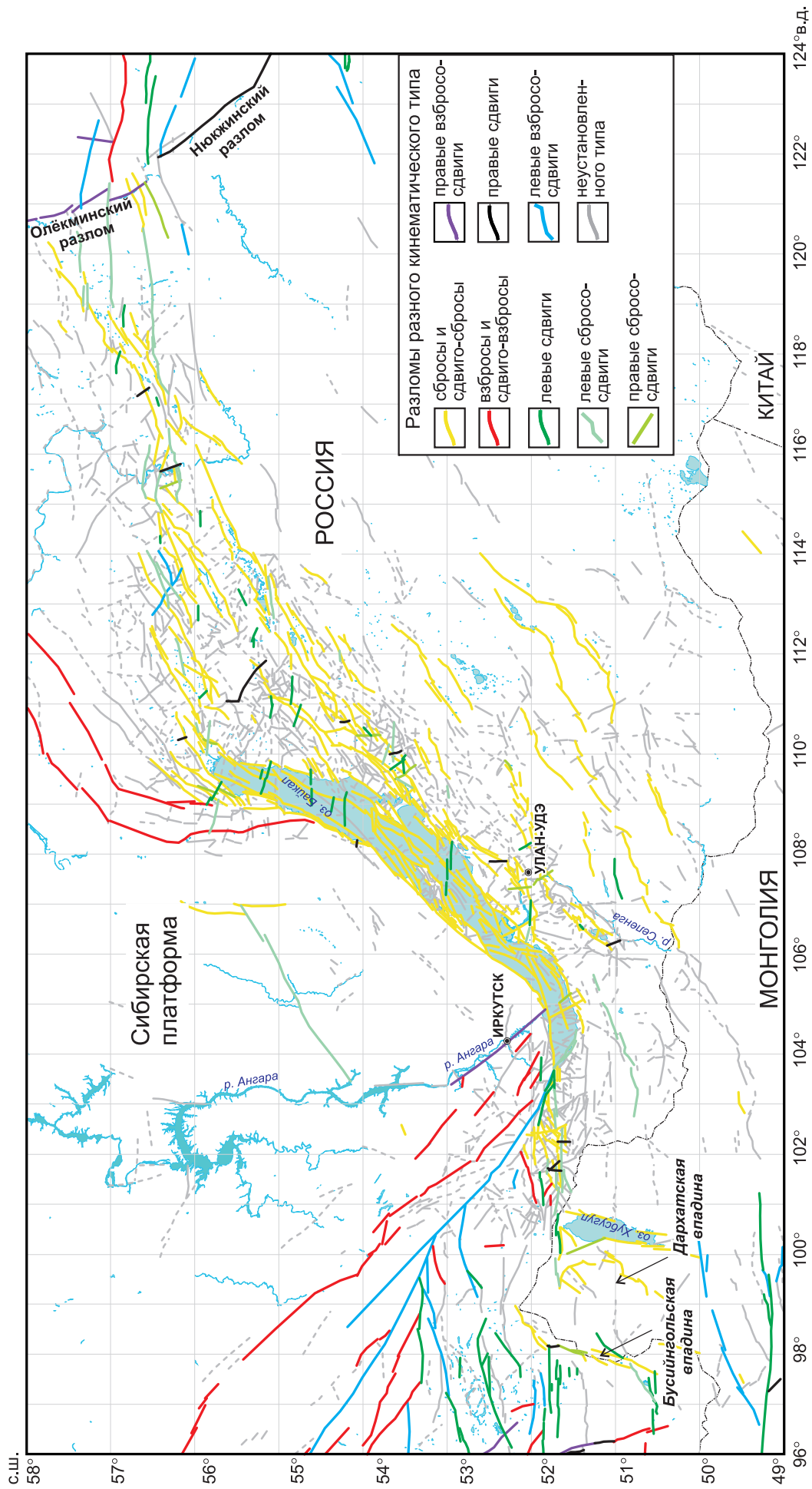


Рис. 4. Пространственное распределение плиоцен-четвертичных разломов с разными типами смещений на юге Восточной Сибири и сопредельной территории.

Fig. 4. Spatial pattern of the Pliocene-Quaternary faults, that differ in types of displacement, in the southern East Siberia and the adjacent region.

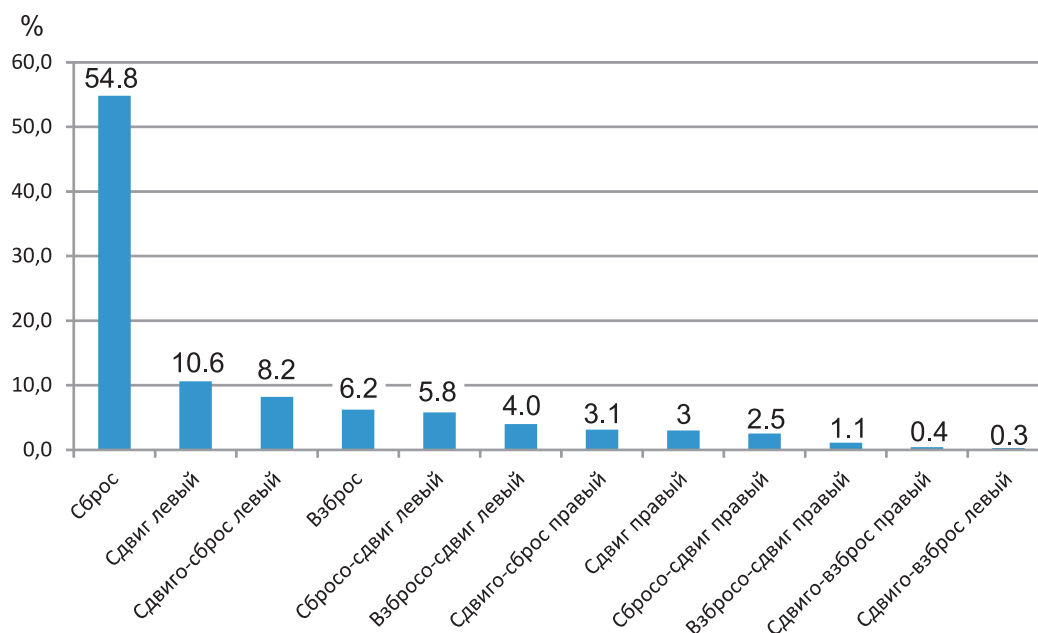


Рис. 5. Гистограмма распределения разломов юга Восточной Сибири и сопредельной территории с разными типами смещений. Доля разломов рассчитана от общего количества разломов с установленной подвижкой.

Fig. 5. Histogram showing the distribution of faults in the southern East Siberia and the adjacent region. The faults differ in types of displacement. The fault ratios are calculated from the total number of faults with specified displacement types.

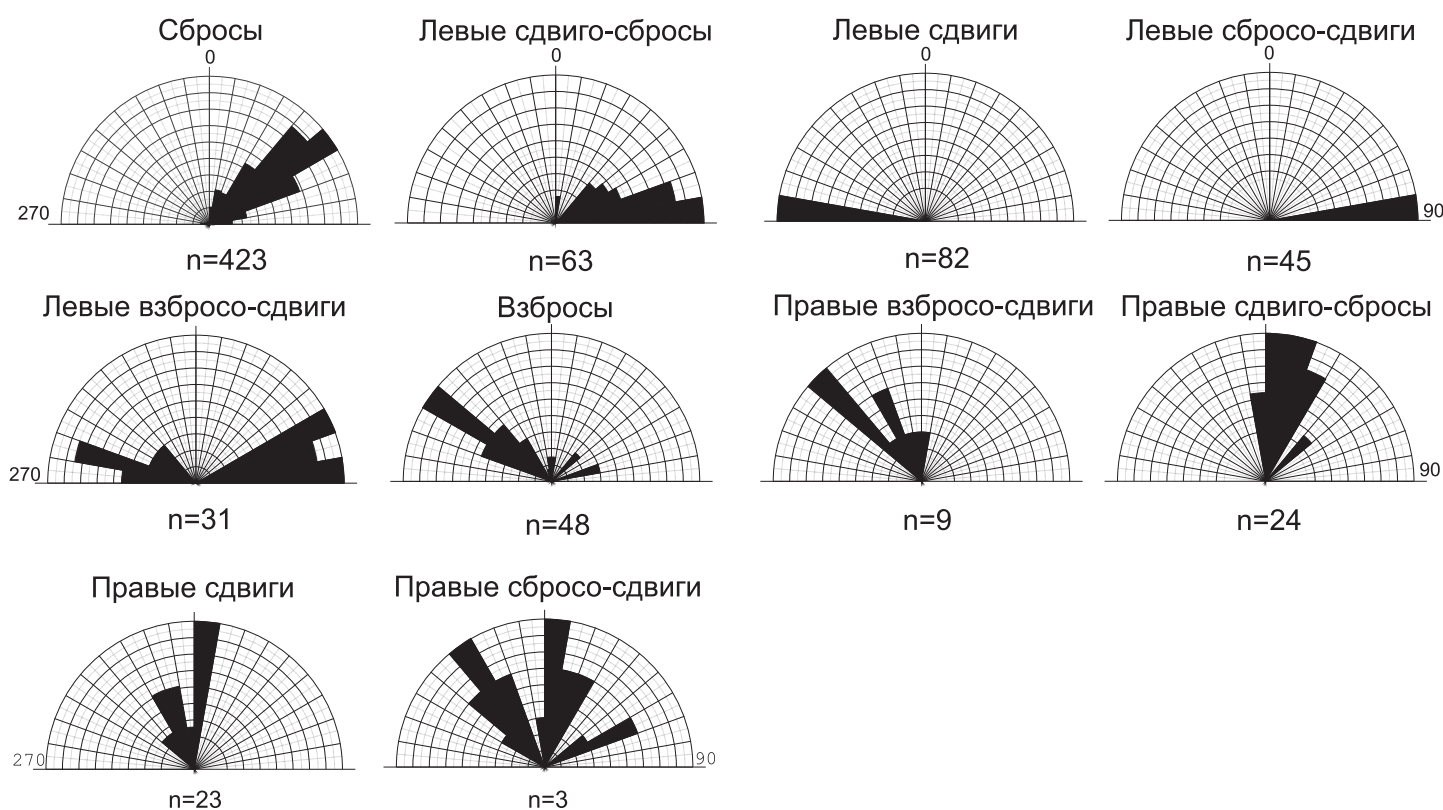


Рис. 6. Роза-диаграммы простирания разломов юга Восточной Сибири и сопредельной территории с разными типами смещений.

Fig. 6. Rose-diagram of fault strikes in the southern East Siberia and the adjacent region. The faults differ in types of displacement.

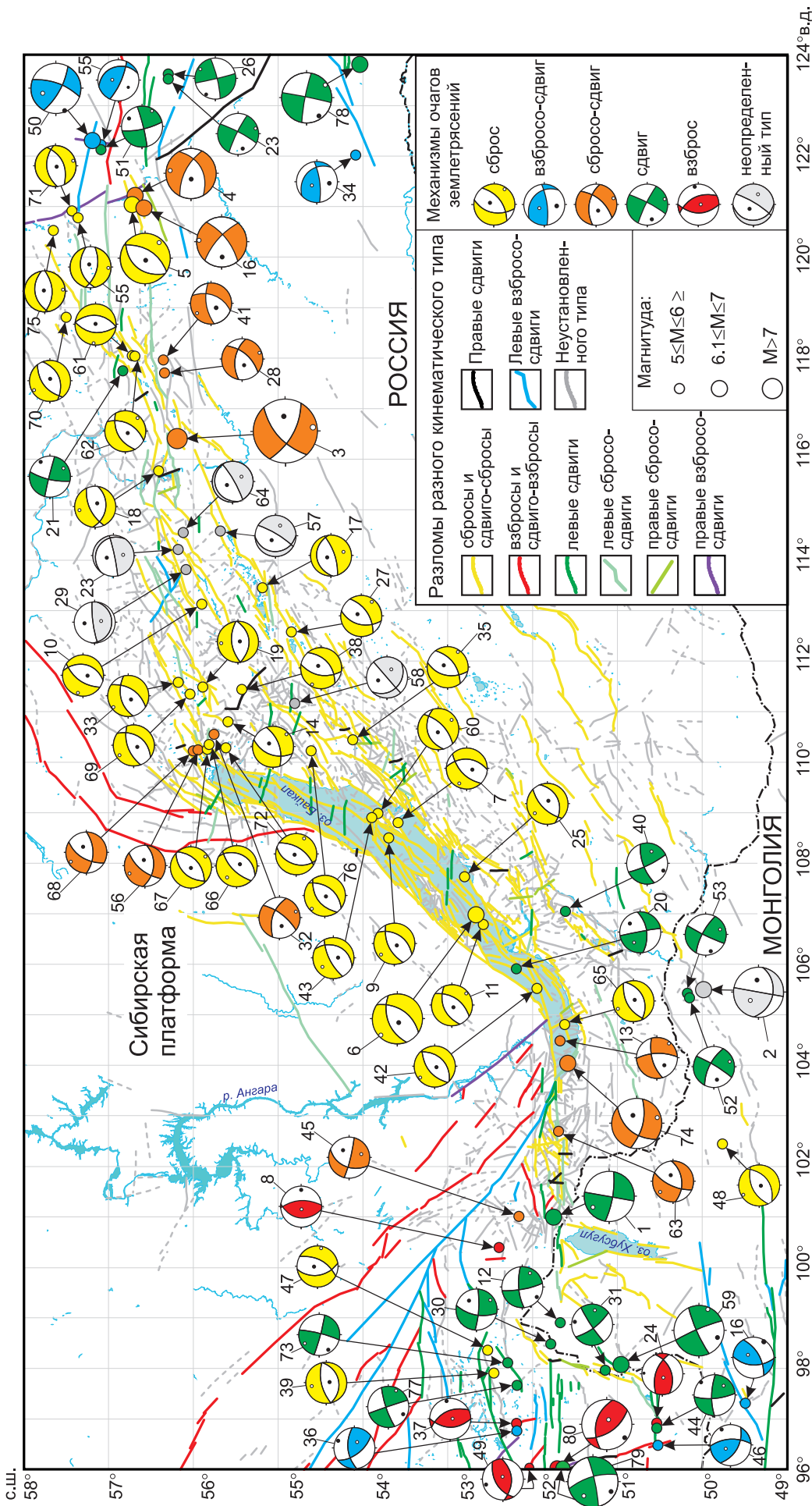


Рис. 7. Индивидуальные решения механизмов очагов землетрясений с магнитудой $M \geq 5$. Номера соответствуют номерам решений в таблице, составленной по различным источникам. Построение фокальных механизмов в проекции нижней полусферы проводилось с помощью бесплатной программы «Earthquake Focal Mechanism», доступной на сайте: <http://demonstrations.wolfram.com/EarthquakeFocalMechanism/>.

Fig. 7. Individual solutions of $M \geq 5$ earthquake focal mechanisms. The numbers correspond to the numbers of solutions in the table compiled from various sources. The focal mechanisms (lower hemisphere projection) are reconstructed by the Earthquake Focal Mechanism software package available on <http://demonstrations.wolfram.com/EarthquakeFocalMechanism/>.

Индивидуальные решения механизмов очагов землетрясений с магнитудой $M \geq 5$ в соответствии с указанными источниками**Individual solutions of $M \geq 5$ earthquake focal mechanisms, as given in corresponding data sources**

№	Дата, г/м/д	Время, ч:мин	Шир.	Долг.	М	Тип М	STK	DIP	SLIP	Источник
1	1950/04/04	18:18	51.77	101.00	6.9	M _w	100	75	0	R
2	1957/02/06	20:34	50.00	105.50	6.5	M _{LH}	190	90	-120	S+R
3	1957/06/27	0:09	56.20	116.40	7.6	M _{LH}	228	60	-147	S+R
4	1958/01/05	11:30	56.70	121.20	6.5	M _{LH}	60	42	-138	S+R
5	1958/09/14	14:21	56.73	121.03	6.4	M _{LH}	32	52	-94	S+R
6	1959/08/29	17:03	52.68	106.98	6.8	M _{LH}	249	48	-64	R
7	1961/10/28	22:45	53.60	108.80	5.5	M _{LH}	4	42	-124	S
8	1962/01/22	7:26	52.40	100.40	5.5	M _{LH}	187	32	99	S
9	1962/08/13	20:11	53.70	108.50	5.2	M _{LH}	32	40	-117	S
10	1962/11/11	11:31	55.90	113.12	5.8	M _{LH}	215	58	-78	R
11	1963/02/10	6:48	52.60	106.80	5	M _{LH}	33	50	-114	S
12	1966/05/10	21:04	51.70	98.92	5.8	M _{LH}	265	70	15	S
13	1966/08/30	6:10	51.69	104.49	5.5	M _{LH}	255	62	-26	S
14	1967/01/15	19:58	55.60	110.80	5.2	M _{LH}	200	46	-130	S
15	1967/01/18	5:34	56.59	120.96	7	M _{LH}	51	66	-158	S+R
16	1967/06/07	17:01	49.50	97.30	5	M _{LH}	60	58	130	S
17	1968/07/21	1:41	55.18	113.45	5	M _{LH}	71	70	-95	S
18	1968/08/31	18:06	56.40	115.78	5	M _{LH}	245	60	-107	S
19	1968/11/26	18:31	55.90	111.49	5.3	M _{LH}	264	55	-91	S
20	1970/03/28	9:44	52.20	105.92	5.5	M _{LH}	82	54	4	S
21	1970/05/15	20:50	56.84	117.74	5.5	M _{LH}	193	72	176	S
22	1971/06/14	13:48	56.30	123.50	5.9	M _{LH}	28	81	-70	S
23	1971/12/18	22:23	56.19	114.21	5	M _{LH}	78	84	-97	S
24	1972/02/26	23:31	50.55	96.83	5.7	M _{LH}	289	54	116	S
25	1972/08/09	19:42	52.80	107.73	5.2	M _{LH}	225	60	-102	S
26	1972/11/25	13:42	56.30	123.60	5.2	M _{LH}	76	80	178	S
27	1973/06/16	12:12	54.85	112.58	5.1	M _{LH}	194	44	-122	S
28	1974/06/21	20:56	56.35	117.70	5.1	M _{LH}	40	58	-133	S
29	1974/07/01	5:21	56.09	113.81	5	M _{LH}	262	80	88	S
30	1974/11/29	21:05	51.79	98.47	5.2	M _{LH}	191	60	-166	S
31	1976/04/01	4:31	51.15	97.97	5.5	M _{LH}	236	82	20	S
32	1976/09/23	9:50	55.75	110.54	5	M _{LH}	37	68	-140	S
33	1976/11/02	14:55	56.19	111.59	5.2	M _{LH}	32	50	-123	S
34	1976/11/24	18:33	54.10	122.00	5	M _{LH}	317	25	142	S
35	1977/08/24	10:14	54.12	110.44	5	M _{LH}	192	46	-121	S
36	1978/08/03	6:07	52.20	96.90	5.5	M _{LH}	181	45	109	S
37	1978/08/09	10:17	52.20	96.80	5	M _{LH}	143	54	134	S
38	1979/01/10	7:30	55.43	111.44	5	M _{LH}	190	51	-116	S
39	1979/01/29	6:27	52.47	97.92	5	M _{LH}	347	84	-45	S
40	1980/1002	1:12	51.62	107.04	5.1	M _{LH}	250	66	13	S
41	1981/01/17	11:23	56.36	117.94	5.1	M _{LH}	21	45	-141	S
42	1981/05/22	9:51	51.97	105.54	5.4	M _{LH}	45	38	-95	S
43	1981/05/27	21:26	53.90	108.91	5.2	M _{LH}	24	28	-126	S
44	1981/08/16	17:54	50.55	96.83	5.5	M _{LH}	175	71	161	S
45	1981/12/01	21:42	52.18	101.00	5	M _{LH}	203	40	-168	S
46	1984/01/20	1:33	50.54	96.49	5	M _{LH}	357	58	130	S
47	1984/11/24	5:49	52.54	98.36	5	M _{LH}	28	54	-66	S
48	1987/03/01	17:59	49.78	102.45	5.2	M _{LH}	52	40	-100	S
49	1987/09/16	17:57	52.05	96.03	5	M _{LH}	86	45	109	S
50	1989/04/20	22:59	57.20	122.30	6.6	M _{LH}	20	67	158	S
51	1989/04/29	6:25	57.10	122.10	5.6	M _{LH}	76	84	-16	S
52	1989/05/13	3:35	50.17	105.34	5.7	M _w	31	82	-155	S+R
53	1989/05/13	4:10	50.18	105.39	5	M _{LH}	206	84	162	S
54	1989/05/17	5:04	57.10	122.20	5.8	M _{LH}	114	74	73	S
55	1989/10/25	20:29	57.51	118.80	5.4	M _w	68	40	-78	GMT+ГС РАН
56	1990/10/26	18:17	55.95	110.25	5.1	M _{LH}	219	61	-125	S
57	1991/08/22	21:15	55.69	114.58	5.2	M _{LH}	31	78	-82	MR
58	1991/09/12	0:33	54.82	111.15	5.1	M _{LH}	134	22	175	MR
59	1991/12/27	9:09	50.98	98.08	6.3	M _w	246	80	-8	GMT+R
60	1992/02/14	8:18	53.83	109.00	5.3	M _{LH}	45	60	-107	MR
61	1994/04/26	18:59	56.72	118.04	5.3	M _{LH}	6	44	-90	MR

Окончание таблицы

End of Table

№	Дата, г/м/д	Время, ч:мин	Шир.	Долг.	М	Тип М	STK	DIP	SLIP	Источник
62	1994/08/21	15:56	56.70	118.03	6	Mw	242	48	-65	R
63	1995/06/29	23:02	51.71	102.70	5.8	Mw	84	44	-40	MR+R
64	1995/11/13	8:43	56.13	114.55	5.9	Mw	60	82	-92	MR+R
65	1999/02/25	18:58	51.64	104.82	6.00	Mw	249	70	-88	R
66	1999/03/21	16:16	55.83	110.34	5.9	Mw	200	54	-160	R
67	1999/03/21	16:17	55.85	110.26	5.9	Mw	223	44	-94	R
68	1999/12/21	11:00	56.01	110.24	5.4	Mw	89	53	-46	GMT+ГС РАН
69	2003/09/16	11:24	56.05	111.34	5.6	Mw	244	60	-74	R
70	2005/11/10	19:29	57.37	120.77	5.8	Mw	90	50	-85	R
71	2005/12/11	15:54	57.43	120.90	5.7	Mw	265	45	-75	GMT+R
72	2007/07/04	1:23	55.62	110.28	5.4	Mw	199	36	-101	GMT+ГС РАН
73	2008/08/16	4:01	52.30	98.11	5.7	Mw	14	81	174	GMT+ГС РАН
74	2008/08/27	1:35	51.60	104.04	6.3	Mw	220	49	-143	GMT+R
75	2009/01/26	21:30	57.66	120.53	5.4	Mw	261	39	-96	GMT+ГС РАН
76	2010/03/19	9:30	54.62	110.22	5.3	Mw	37	45	-102	GMT+ГС РАН
77	2011/02/10	5:35	52.20	97.67	5.5	Mw	251	78	-2	GMT+ГС РАН
78	2011/10/14	6:10	54.05	123.80	6.0	Mw	281	82	-3	GMT+ГС РАН
79	2011/12/27	15:21	51.82	95.93	6.7	Mw	344	67	171	GMT+ГС РАН
80	2012/02/26	6:17	51.74	95.99	6.6	Mw	285	43	58	GMT+ГС РАН

Примечание. г/м/д – год, месяц, день; ч:мин – час, минуты; шир. – широта в градусах; долг. – долгота в градусах; М – магнитуда; STK – азимут простирания нодальной плоскости; DIP – угол падения плоскости; SLIP – вектор подвижки. Источники: S – Solonenko et al., 1993; R – Radziminovich et al., 2013; GMT – Global GMT Catalog (<http://www.globalcmt.org/>); MR – Melnikova, Radziminovich, 1998; ГС РАН – Геофизическая служба Российской академии наук (<http://www.ceme.gsras.ru/ceme/as.html>).

NOTE. г/м/д – year, month, date; ч:мин – hour, minute; шир. – latitude (°); долг. – longitude (°); М – magnitude; STK – nodal plane strike azimuth; DIP – plane dip; SLIP – slip vector. Data sources: S – Solonenko et al., 1993; R – Radziminovich et al., 2013; GMT – Global GMT Catalog (<http://www.globalcmt.org/>); MR – Melnikova, Radziminovich, 1998; ГС РАН – Geological Survey of the Russian Academy of Sciences (<http://www.ceme.gsras.ru/ceme/as.html>).

денного с помощью метода катакластического анализа трещин [San'kov, Dobrynina, 2015].

3.3. ВОЗРАСТ АКТИВИЗАЦИИ РАЗЛОМОВ

Анализ разломов из базы данных по критерию времени последней активизации (плиоценовое, плейстоценовое, голоценовое, историческое) показал, что достаточно много разломов активизировалось в течение четвертичного периода (рис. 8). Это те разломы, которые, согласно работе [Research Group for Active Faults of Japan, 1992], относятся к категории активных и учитываются в оценке сейсмической опасности на территории США [U.S. Geological Survey, 2006]. Если не принимать во внимание Жигаловский и Хандинский разломы, выделенные К.Г. Леви с соавторами [Levi et al., 1996] в пределах Сибирской платформы, то можно заключить, что в течение четвертичного периода разломы между истоком р. Ангары и Баргузинским заливом активизировались в сравнительно узкой полосе шириной ~60–140 км (рис. 8). Ее протяженность четко совпадает с СВ–ЮЗ сегментом краевого шва Сибирской платформы. При удалении на западно-запад и северо-восток размеры области акти-

визации увеличиваются до нескольких сотен километров, что совпадает с изменением конфигурации южной границы древней плиты. Влияние последней на развитие Байкальской рифтовой зоны не раз обсуждалось в предшествующих публикациях [Logatchev, Florensov, 1978; Zorin et al., 2003; Petit, Déverchère, 2006; Seminsky, 2009; Corti et al., 2011]. Однако в этой работе наглядно показано влияние геометрии краевого шва на кинематику и ширину зоны локализации активных разломов.

Следует заметить, что как в голоценовое, так и в настоящее время обновляются разрывные нарушения преимущественно СВ–ЮЗ и субширотного простирания (рис. 8), к которым, как было показано выше, относятся главным образом сбросы, левые сдвиги-сбросы, левые сдвиги, левые сбросо-сдвиги, левые взбросо-сдвиги (см. рис. 4 и 6). Это косвенно свидетельствует о том, что геодинамический режим развития юга Восточной Сибири и сопредельной Северной Монголии на протяжении всего голоцена вплоть до наших дней не изменялся в региональном масштабе. В самой западной части рассматриваемой территории, в Монголии и Республике Тува РФ, северо-восточные разломы перестают быть значимыми, хотя, судя по подвижкам

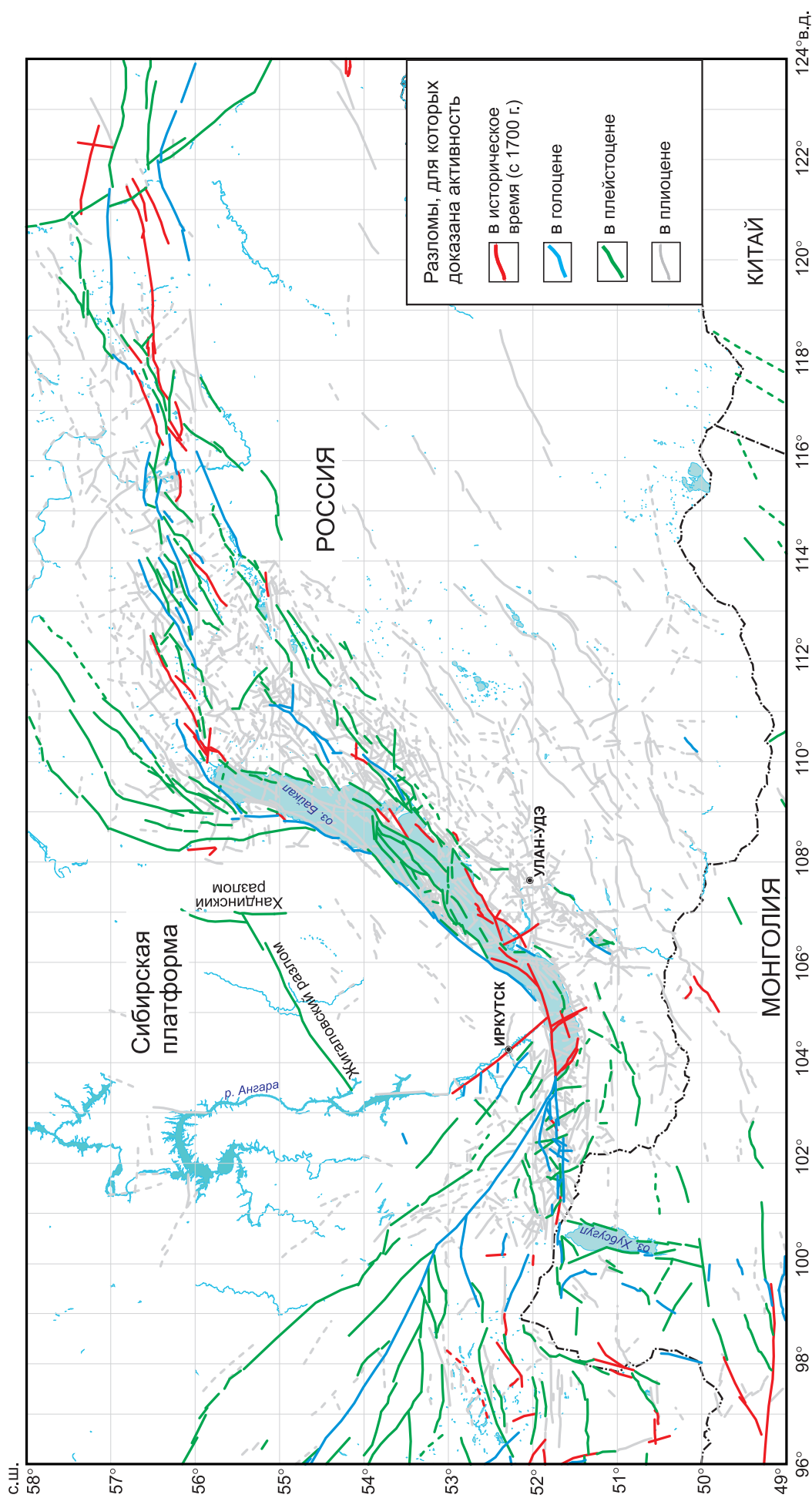


Рис. 8. Дифференциация разломов по возрасту последней активизации на юге Восточной Сибири и сопредельной территории.

Fig. 8. Differentiation of faults located in the southern East Siberia and the adjacent territory by ages of their last activations.

вдоль разрывов в очагах землетрясений [San'kov, Dobrynina, 2015], в их зонах продолжает накапливаться и реализовываться сейсмическая энергия. Тем не менее западнее Бусийнгольской впадины ведущую роль в структурной плане и, следовательно, в активизации земной коры играют субмеридиональные, северо-западные и субширотные разломы.

3.4. СЕЙСМОАКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ

Среди всех плиоцен-четвертичных разломов определенный интерес представляют сейсмоактивные (сейсмогенерирующие) структуры, способные породить землетрясения с $M \geq 5.5$. Именно такие сейсмические события представляют наибольшую опасность, вызывая поверхностное разрывообразование, склоновые сейсмогравитационные процессы, разжижение, провалы грунта и другие ко-сейсмические эффекты.

В базе данных к сейсмоактивным отнесены только те разломы, для которых аргументирован сейсмический потенциал, определяемый магнитудой 5.5 и более. Так, в строке «Сейсмоактивность» (приложение) «Да» означает возможность генерирования данным разломом соответствующего землетрясения, «Нет» – невозможность такого события или отсутствие данных. Поле «Сейсмоактивность» заполняется «Да» автоматически при условии, если заполнены поля «Палеосейсмогеологические признаки активности» (приуроченность к разлому палеосейсмодислокации), «Последнее инструментальное или историческое землетрясение с $M \geq 5.5$ », «Ассоциируемый КСИ («Композитный сейсмогенный источник» в русскоязычных переводных публикациях [Lunina et al., 2012b], «Composite seismogenic source» в иностранной литературе [Basili et al., 2008])» и/или «Ассоциируемый ИГКСИ («индивидуальный геолого-геофизический сейсмогенный источник», «Individual seismogenic source» [Basili et al., 2008])». Приуроченность того или иного землетрясения к разлому определялась автором на основании детального изучения данных о параметрах очагов землетрясений инструментального периода с $M \geq 5.5$, собранных из публикаций и электронных ресурсов [Solonenko et al., 1993; Melnikova, Radziminovich, 1998, 2003, 2004a, 2004b, 2005; Radziminovich et al., 2013; Global CMT Catalog; Geophysical Survey..., 2016]. При анализе во внимание принимались нодальные плоскости, тип подвижки в очаге, глубина гипоцентра и положение эпицентра. Для некоторых сейсмических событий сведения о тектонической позиции очагов землетрясений были получены из публикаций, которые приводятся в полной версии базы данных, представленной в информационной системе «ActiveTectonics».

Выбор минимальной магнитуды землетрясений 5.5 обусловлен пороговым значением, при котором очаговый сейсмогенный разрыв может выйти на поверхность. Это можно видеть из каталогов разрывообразующих землетрясений [Wells, Copper-smith, 1994; Lunina, 2002], хотя есть единичные сейсмические события с $M_s = 5.1-5.2$, с которыми связывают современные сейсмодислокации. В России нижнее значение магнитуды для линейных зон ВОЗ при общем сейсмическом районировании принято 6.0, что обосновывается ненадежностью определения очагов с меньшей магнитудой [Ulomov, 2009]. Однако при детальном сейсмическом районировании ограничений по магнитуде землетрясений не делается.

По результатам формирования выборок из базы данных была составлена карта сейсмоактивных разломов, способных генерировать землетрясения с $M = 5.5$ (рис. 9). Геометрические, кинематические и некоторые другие параметры каждого из них могут быть получены из прилагаемых к статье kml- и tab-файлов. Видно, что основными сейсмогенерирующими структурами на юге Восточной Сибири и сопредельной Северной Монголии являются северо-восточные и субширотные разломы, что объясняется значительным влиянием Байкальской рифтовой зоны – главнейшей современной тектонической единицы на рассматриваемой территории.

3.5. СОГЛАСОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ С ОБЩЕПРИНЯТЫМИ НАУЧНЫМИ ВЗГЛЯДАМИ

Установленные закономерности распространения и активизации разломов, активных в плиоцен-четвертичное время, находятся в согласии с общепринятыми научными взглядами на тектонику и геодинамику юга Восточной Сибири и Северной Монголии. Краевой шов Сибирской платформы блокирует распространение рифтогенных процессов к западу, а его изогнутая геометрия влияет на кинематические параметры существующих разрывных нарушений, активизированных в позднем кайнозое под воздействием СЗ–ЮВ растяжения. Независимо от механизма формирования Байкальской рифтовой зоны, который объясняют подъемом аномальной мантии и/или воздействием на подошву литосферы астеносферного потока в ЮВ направлении, а также сжатием в СВ направлении, связанным с Индо-Евразийской коллизией [Molnar, Tapponnier, 1975; Zorin, 1981; Petit et al., 1998; Logachev et al., 2000; Zorin et al., 2003; Tiberi et al., 2003; Lebedev et al., 2006; Kulakov, 2008; Petit, Déverchère, 2006; San'kov et al., 2011; Sankov et al., 2015; и мн. др.], в таких структурных и геодинамических условиях вдоль северо-восточного сегмента древней тектонической границы разломы активизируются как

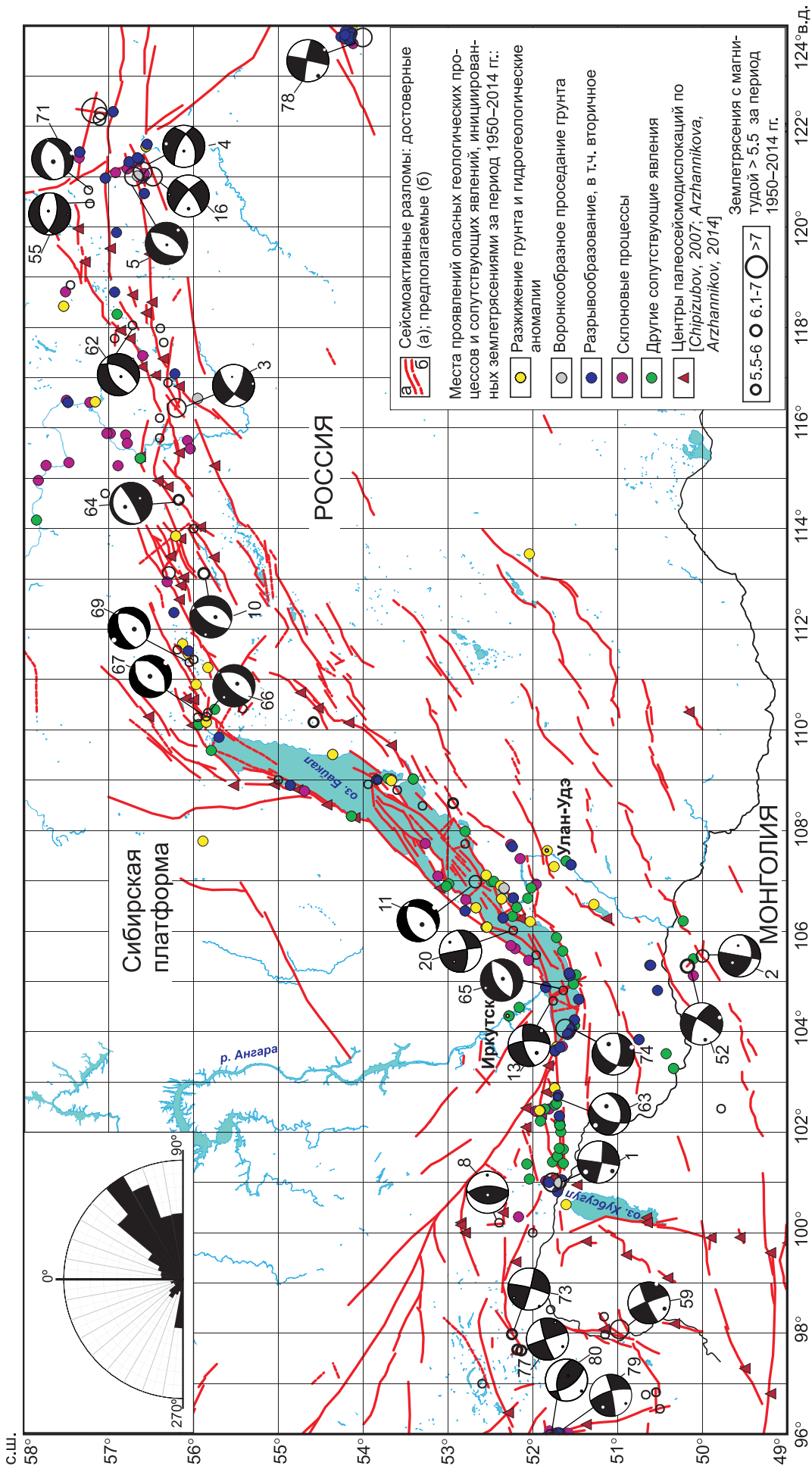


Рис. 9. Карта сейсмоактивных разломов юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии, способных генерировать землетрясения с $M \geq 5.5$. Номера механизмов очагов землетрясений соответствуют номерам в таблице. В левом верхнем углу – роза-диаграмма простираения разломов.

Fig. 9. The map of the southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia region, showing seismically active faults that can generate $M \geq 5.5$ earthquakes. The numbers of earthquake focal mechanisms correspond to the numbers in the table. Upper left corner – the rose diagram of fault strikes.

сбросы, что благоприятствует развитию глубоких впадин такого же направления.

Северо-западный сегмент краевого шва Сибирской платформы, маркируемый Главным Саянским взбросо-сдвигом, выступает в роли трансформного разлома [Zonenshain et al., 1995]. Его среднее простираение 305° образует малый угол – от 15 до 25° с направлением региональных растягивающих усилий. При подобной комбинации разрывных нарушений и движущих сил деформации в разломной зоне происходят в условиях транспрессии [Sanderson, Marchini, 1984], что доказывается результатами сейсмогеологических [Chipizubov, Smekalin, 1999] и структурно-геологических исследований [Lunina, 2002; Lunina, Gladkov, 2002].

Широкое развитие субширотных левосторонних сдвигов объясняется левосторонним смещением блоков, которое на основании физического моделирования на глине рассматривается как один из главных факторов эволюции впадин и разломов в Байкальской рифтовой зоне [Seminsky, 2009] и находит свое отражение в некоторых региональных моделях развития региона [Sherman, Levi, 1978; Jolivet et al., 2013]. В Тункинской рифтовой впадине широтные структуры проявились особенно интенсивно, так как СЗ–ЮВ растяжение воздействовало на древний Тункинско-Хамардабанский структурный шов, возникший при столкновении двух террейнов в раннем палеозое [Belichenko et al., 2003]. Роль субширотных левых сдвигов становится даже более значительной при удалении от оз. Байкал на запад и восток.

Таким образом, подтверждается достоверность полученных результатов геолого-структурного изучения и картирования разломов, обобщенных в виде тематических карт, где по каждому разлому в базе данных может быть получена обоснованная информация.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные базовая (см. рис. 2) и тематические карты (см. рис. 3, 4, 7–9) разломов в цифровом виде могут быть использованы как тектонические основы для обобщения геологических, геофизических, гидрогеологических и геодезических данных в целях прогнозирования опасных эндогенных и экзогенных геологических процессов. Поскольку большая часть представленных в базе данных разломов имеет длительную историю геологического развития, базовая карта может быть полезна для проведения поисковых работ, связанных с изучением закономерностей размещения коренных месторождений полезных ископаемых, сформированных в разные временные периоды. Безусловным

ее преимуществом перед другими региональными картами разломов является ее комплексная основа, в которой важное место принадлежит прямым геолого-структурным наблюдениям разрывных нарушений различного иерархического уровня и сопутствующих им деформаций в разновозрастных породах. Кроме того, она была выполнена на основе среднего 1:200000 масштаба (масштаб дешифрированных топокарт) с использованием самых последних достижений геоинформационных технологий, т.е. сопровождается базой данных, оформленной в информационной системе, которая удобна для визуализации на html-страницах всех известных взаимосвязанных с конкретным разломом материалов. Благодаря детальной проработке различных материалов, на карте удалось обоснованно показать разломы внутри рифтовых впадин и в то же время критически пересмотреть ту структурную сеть, которая была выделена ранее для изученной территории юга Восточной Сибири. База данных, благодаря специальному блоку редактирования в информационной системе, может легко пополняться новыми данными и модернизироваться.

Анализ представленных тематических карт разломов позволил сделать ряд заключений, которые отчасти были известны или спорны, но сейчас имеют под собой фактологическую основу, созданную в базе данных информационной системы «ActiveTectonics». Эти заключения сводятся к следующему.

Сочетание дизъюнктивов разного кинематического типа на юге Восточной Сибири и сопредельной Северной Монголии отражает региональный парагенез разломных структур, активизированных в плиоцен-четвертичное время под воздействием доминирующего на большей части рассматриваемой территории СЗ–ЮВ растяжения и СВ–ЮЗ сжатия, которые в зависимости от наклона осей главных нормальных напряжений по отношению к горизонту определили особенности количественного и пространственного распределения разрывных нарушений с разными типами подвижек на фоне существования жесткой границы древней Сибирской платформы. Геометрия ее краевого шва в плане оказала значительное влияние на кинематику и ширину зоны локализации активных в четвертичное время разломов.

Юго-западная граница Байкальской рифтовой зоны проходит вдоль Бусийнгольской впадины и Западного Белино-Бусийнгольского разлома, северо-восточная – вдоль Олёкминского и Нюкжинского разломов, расположенных в бассейнах одноименных рек. Западнее и восточнее указанных тектонических границ, имеющих субмеридиональное, север-северо-западное и северо-западное простираение, происходит резкая смена рифтового режима

развития, который может характеризоваться растяжением, растяжением со сдвигом и сдвигом, при условии их закономерного соседства в пространстве, на транспрессионный.

На юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны в четвертичное и настоящее время доминируют тектонические режимы сдвига и сдвига с растяжением.

Для голоцена и настоящего времени в целом характерны единые особенности активизации, в том числе и сейсмогенной, когда обновляются преимущественно разломы СВ-ЮЗ и субширотного простирания, к которым относятся сбросы, левые сдвиги-сбросы, левые сдвиги, левые сбросо-сдвиги, левые взбросо-сдвиги. Это косвенно свидетельствует о том, что геодинамический режим развития юга Восточной Сибири и сопредельной Северной Монголии на протяжении всего голоцена вплоть до наших дней не изменялся в региональном масштабе. Исключением являются Главный Саянский разлом ЗСЗ-ВЮВ простирания, активность которого подтверждается приуроченностью голоценовых сейсмодислокаций, продолжающий его в оз. Байкал Южно-Байкальский разлом, с которым ассоциируется Култукское землетрясение 27.08.2008 г., и Ангарский разлом, малоамплитудные смещения по которому являются откликом землетрясений, происходящих в Байкальской впадине. Западнее меридиана 98° северо-восточные разломы перестают быть значимыми.

Наиболее благоприятными для возникновения в зонах разломов опасных геологических процессов эндогенной и экзогенной природы являются Мондинский, Хойтогольский, Окино-Жомболокский, Главный Саянский, Обручевский, Сахалин-Энхалукский, Дельтовый, Южно-Святоносский, Амнундинский, Муяканский, Намаракитский, Сюльбанский и Ханийский разломы, а также сегменты Болнайского, Каахемского, Белино-Бусийнгольского Восточного, Цэцэрлэгского, Тункинского, Приморского, Морского (Ольхонского), Баргузинского, Кичерского, Верхнеангарского (Северо-Муйского), Огней-Уклоньского, Верхнемуйского и Южно-Муйского разломов, обладающие степенью активности более 20 баллов.

5. БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает искреннюю благодарность доктору геол.-мин. наук, профессору С.И. Шерману за инициализацию исследований разломов юга Восточной Сибири. Неоценимую помощь при полевом изучении разломов в разные годы оказали коллеги по лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН А.С. Гладков, К.Ж. Семинский, А.В. Черемных, А.А. Бобров, С.А. Борняков, И.А. Потехина, А.А. Гладков. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 14-17-00007.

6. ПРИЛОЖЕНИЕ / APPENDIX

Описание входной информации для объекта «Активный разлом»

Description of the input information used in the Active Fault Project

Название атрибута	Тип	Описание
Общие сведения		
ID разлома	Текстовая строка	Первичный ключ, идентифицирующий разлом (например, RUAF_1 – RUssian Active Fault, нижнее подчеркивание, порядковый номер – для разломов, расположенных на территории РФ)
Название	Текстовая строка	Название разлома, если таковое имеется
Географическое положение	Текстовая строка	Краткая информация о местоположении разлома с возможной привязкой к географическим объектам
Класс достоверности	«Достоверный» или «Предполагаемый»	Достоверный разлом – разлом, который подтверждается как минимум одним из нижеперечисленных прямых признаков: зонами разрывных нарушений и/или хорошо выраженными системами трещин определенного направления в коренных, слабосцементированных и/или рыхлых породах; сейсмогенными деформациями; линейным выстраиванием вдоль разлома группы эпицентров землетрясений с $K_p \geq 10$; разломными сместителями, наблюдаемыми с подводных аппаратов; сейсмоакустическими данными о смещении осадков. Предполагаемый разлом – разлом, который прослеживается по геоморфологическим и/или геофизическим данным

Приложение (продолжение)

Appendix (continued)

Название атрибута	Тип	Описание
Ассоциируемый КСИ	Текстовая строка	Идентификатор ассоциируемого композитного сейсмогенного источника, если таковой имеется
Ассоциируемые ИГГСИ	Текстовая строка	Перечисление через запятую идентификаторов ассоциируемых индивидуальных геолого-геофизических сейсмогенных источников, если таковые имеются
Сейсмоактивность	«Да» или «Нет»	В строке сейсмоактивность «да» означает возможность генерирования данным разломом землетрясения с $M \geq 5.5$, «нет» – невозможность такого события или отсутствие данных
ФИО составителя	Текстовая строка	ФИО эксперта, заполняющего данные о разломе
Дата	Дата	Дата составления в формате «дд.мм.гггг»
Параметрическая информация*		
Простираие, °	Вещественное число	Среднее простираие разлома в градусах. Определяется автоматически по прямой, соединяющей начальную и конечную точки разлома
Азимут падения, °	Вещественное число	Азимут падения разлома в градусах
Угол падения, °	Вещественное число	Угол падения разлома в градусах
Длина, км	Вещественное число	Длина разлома в километрах. Рассчитывается автоматически как длина изображения разлома на карте
Глубина, км	Вещественное число	Глубина проникновения разлома в километрах. Определяется от поверхности по вертикальной плоскости
Ширина зоны активного динамического влияния, км	Вещественное число	Ширина зоны активного динамического влияния в километрах. При отсутствии введенного экспертом значения определяется автоматически как 10 % от длины разлома [Ruzhich, 1977; Sherman et al., 1985]
Кинематика	Текстовая строка	Преобладающий тип подвижки по разлому в последний этап активизации
Суммарная амплитуда горизонтального смещения за кайнозой, м	Целое число	Суммарная амплитуда горизонтального смещения за кайнозой в метрах
Суммарная амплитуда вертикального смещения за кайнозой, м	Целое число	Суммарная амплитуда вертикального смещения за кайнозой в метрах
Средняя скорость смещения, мм/г	Вещественное число	Средняя скорость смещения по разлому в миллиметрах в год
Сейсмическое поведение*		
Абсолютный возраст деформаций, лет	Текстовая строка	Установленный возраст деформаций с указанием метода определения в строке «Обоснование»
Последнее землетрясение с $M \geq 5.5$	Текстовая строка	Последнее инструментальное или историческое землетрясение с $M \geq 5.5$, ассоциируемое с разломом. Указывается его дата в формате «дд.мм.гггг» и магнитуда землетрясения с указанием ее типа. Если известны другие взаимосвязанные события, предшествующие последнему, то они указываются в разделе «Комментарии» базы данных
Прошедшее время от 2010 г., лет	Целое число	Прошедшее время, рассчитанное от 2010 г. до предшествующего последнего палео-, исторического или инструментального землетрясения, установленного любым способом
Скорость смещения (мин.-макс.), мм/год	Текстовая строка	Минимальная и максимальная скорости смещения по разлому в миллиметрах в год, обозначенные через знак «-»
Макс. Dvert, м	Вещественное число	Максимальное вертикальное смещение по разлому в метрах, произошедшее при одном землетрясении
Макс. Dhor, м	Вещественное число	Максимальное горизонтальное смещение по разлому в метрах, произошедшее при одном землетрясении
Макс. Dfull, м	Вещественное число	Максимальное полное смещение по разлому в метрах, произошедшее при одном землетрясении
Интервал повторяемости, лет	Текстовая строка, интервал чисел	Минимальный и максимальный период повторяемости землетрясений с $M \geq 5.5$
Макс. Mw потенциального ЗТ	Вещественное число	Максимально возможная Mw потенциального землетрясения

Приложение (окончание)

Appendix (End)

Название атрибута	Тип	Описание
Макс. Ms потенциального ЗТ	Вещественное число	Максимально возможная Ms потенциального землетрясения
Анализ активности**		
Признаки активности разлома		
Геоморфологические	Текстовая строка	а) проявление разлома на топографических картах, космоснимках или 3-мерных моделях рельефа (дистанционное диагностирование): <i>1 балл</i> ; б) проявление разлома на местности (наземное диагностирование): <i>2 балла</i>
Геофизические	Текстовая строка	а) повышенное содержание радона в воде и/или почве: <i>2 балла</i> ; б) любая другая геофизическая аномалия: <i>1 балл</i> (за каждую геофизическую аномалию в зоне разлома)
Инженерно-геологические	Текстовая строка	а) крупный оползень или обвал объемом не менее 15500 м ³ , приуроченный к зоне разлома: <i>3 балла</i>
Гидрологические	Текстовая строка	а) наличие восходящих термальных источников: <i>2 балла</i> ; б) неклиматические изменения уровня воды в скважинах или дебита источников: <i>2 балла</i> ; в) вариации химического состава в источниках: <i>2 балла</i>
Метеорологические	Текстовая строка	а) периодически возникающие линейно-облачные аномалии над разломом: <i>2 балла</i>
Структурно-геологические	Текстовая строка	Указываются литология и возраст плиоцен-четвертичных деформированных пород в зоне разлома, баллы присваиваются за типы деформационных структур. а) трещины в средне-, мелко- и тонкозернистых отложениях и в отдельных обломках: <i>1 балл</i> ; б) трещины, раскалывающие несколько галек и валунов в одном направлении, следы скольжения и соударения на их поверхностях: <i>3 балла</i> ; в) сейсмиды, зоны трещиноватости, расланцевания или дробления, кластические дайки сейсмогенного происхождения, смещения 5 см и более (все структуры в плиоцен-четвертичных отложениях): <i>5 баллов</i>
Палеосеймогеологические	Текстовая строка	Указываются название палеосейсмодислокации, ее длина в километрах, вертикальное и горизонтальное смещения в метрах. а) палеосейсмодислокация длиной до 10 км: <i>3 балла</i> ; б) палеосейсмодислокация длиной 11–50 км: <i>5 баллов</i> ; в) палеосейсмодислокация длиной более 50 км: <i>7 баллов</i>
Сейсмологические	Текстовая строка	Указываются максимальные класс (К) и магнитуда (М), а также количество землетрясений с $M \geq 3.3$ ($K \geq 10$) в зоне разлома. а) 1–3 землетрясений с $M \geq 3.3$: <i>3 балла</i> ; б) 4–5 землетрясений с $M \geq 3.3$: <i>5 баллов</i> ; в) более 5 землетрясений с $M \geq 3.3$: <i>7 баллов</i> ; г) землетрясения в зоне разлома с $M \leq 4.5$: <i>3 балла</i> ; д) землетрясения в зоне разлома с $M = 4.6–6.5$: <i>5 баллов</i> ; е) землетрясения в зоне разлома с $M > 6.5$: <i>7 баллов</i>
Геологические и геодезические определения скоростей смещений	Текстовая строка	а) скорость смещения по разлому до 1 мм/год: <i>1 балл</i> ; б) скорость смещения по разлому 2–5 мм/год: <i>3 балла</i> ; в) скорость смещения по разлому более 5 мм/год: <i>5 баллов</i>
Время последней активизации	Текстовая строка	Период неопределенности в оценках времени последней активизации; подразделяется на плиоценовое, плейстоценовое, голоценовое и историческое. Указывается с учетом признаков активности разломов, отраженных в базе данных

Примечание. * Для каждого поля из разделов «Параметрическая информация» и «Сейсмическое поведение» также заполняются дополнительные поля «Качество» и «Обоснование». Поле «Качество» содержит информацию об источнике вводимых данных и может принимать одно из следующих значений: «ЛС» – литературные сведения; «НД» – неопубликованные данные; «СС» – статистические соотношения; «АС» – аналитические соотношения; «ЭЗ» – экспертное заключение. Поле «Обоснование» для каждого атрибута представляет собой текстовую строку с информацией, содержащей ссылки на источники данных и пояснения к ним. ** Для каждого поля из раздела «Анализ активности», кроме поля «Время последней активизации», также заполняется поле

«Баллы». Это поле содержит информацию о количестве присвоенных баллов по каждому из признаков активности в соответствии с авторской методикой [Lunina, 2010], и его значение представляет собой целое число.

Note. *Additional fields (Quality, and Justification) are also filled in for each field of the Parameter Information and Seismic Behavior sections. The Quality field contains information about the input data source: ЛС – published data; НД – unpublished data; СС – statistical ratios; АС – analytical ratios; ЭЭ – expert opinion. For each attribute, the Justification field shows references and relevant explanations. ** For each field in the Analysis of Activity section, the Points field is filled in (in addition to the Last Activation Time field). This field shows the number of points (given as an integer) assigned to each of the activity indicators in accordance with the original method proposed in [Lunina, 2010].

7. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- A.I.S.T. (Japanese National Institute of Advanced Industrial Science and Technology). Active Fault Database of Japan, August 11, 2015 version, 2007. Available from: https://gbank.gsj.jp/activefault/index_e_gmap.html (last accessed 18.03.2016).
- Arzhannikova A.V., Arzhannikov S.G., 2014. Seismotectonics of the Altai-Sayan mountain region. In: Earthquakes in Tuva of 2011–2012. ТувиКОПР SB RAS, Кузл, p. 4–9 (in Russian) [Аржанникова А.В., Аржанников С.Г. Сейсмо-тектоника Алтае-Саянской горной области // Тувинские землетрясения 2011–2012 гг. Кызыл: ТувиКОПР СО РАН, 2014. С. 4–9].
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E., 2008. The database of individual seismogenic source (DISS), Version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. *Tectonophysics* 453 (1–4), 20–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2007.04.014>.
- Belichenko V.G., Reznitsky L.Z., Geletii N.K., Barash I.G., 2003. Tuva-Mongolia terrane (in the context of microcontinents in the Paleasian ocean). *Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics)* 44 (6), 554–565.
- Bulgatov A.N., Bulnaev K.B., Ochirov Ts.O., Turunkhaev V.I., 1978. Tectonic Faults in Transbaikalia. Nauka, Novosibirsk, 110 p. (in Russian) [Булгатов А.Н., Булнаев К.Б., Очиров Ц.О., Турунхаев В.И. Тектонические разломы Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1978. 110 с.].
- Bulnaev K.B., Dorzhiev V.S., Ochirov Ts.O., Turunkhaev V.I., 1975. Mesozoic tectonics of Transbaikalia. Nauka, Novosibirsk, 206 p. (in Russian) [Булнаев К.Б., Доржиев В.С., Очиров Ц.О., Турунхаев В.И. Мезозойская тектоника Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1975. 206 с.].
- Caputo R., Chatzipetros A., Pavlides S., Sboras S., 2012. The Greek database of seismogenic sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece. *Annals of Geophysics* 55 (5), 859–894. <http://dx.doi.org/10.4401/ag-5168>.
- Caputo R., Pavlides S. and GreDaSS Working Group, 2013. The Greek database of seismogenic sources (GreDaSS). A compilation of potential sources for earthquake larger than 5.5 in Greece and surrounding areas. Available from: <http://gredass.unife.it> (last accessed 18.03.2016).
- Chipizubov A.V., 2007. Optimal Assessment of Seismic Hazard in Pribaikalie. PhD Thesis (Doctor of Sciences – Geology and Mineralogy). Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, 417 p. (in Russian) [Чипизубов А.В. Оптимальная оценка сейсмической опасности Прибайкалья: Дис. ... докт. геол.-мин. наук. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. 417 с.].
- Chipizubov A.V., Smekalin O.P., 1999. Fault scarps and the causative prehistoric earthquakes in the Main Sayan Fault zone. *Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics)* 40 (6), 921–931.
- Consortium for Spatial Information, 2004. Available from: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp> (last accessed 18.03.2016).
- Corti G. E., Calignano, Petit C., Sani F., 2011. Control of lithospheric structure and plate kinematics on rift architecture and evolution: an experimental modeling of the Baikal rift. *Tectonics* 30 (3), TC3011. <http://dx.doi.org/10.1029/2011TC002871>.
- Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 2016. Available from: <http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/ceme/earthquakes.pl?l=1> (last accessed 19.03.2016).
- Gladkov A.A., Lunina O.V., Andreyev A.V., 2013. Some aspects of development information system for integration data on active tectonics. *Geoinformatika* (4), 6–14 (in Russian) [Гладков А.А., Лунина О.В., Андреев А.В. Некоторые аспекты разработки информационной системы для интегрирования данных по активной тектонике // Геоинформатика. 2013. № 4. С. 6–14].
- Global CMT Catalog. Available from: <http://www.globalcmt.org/> (last accessed 19.03.2016).
- GNS Science Ltd. (Institute of Geological and Nuclear Sciences Limited). New Zealand Active Faults Database, 2004. Available from: <http://maps.gns.cri.nz/website/af/> (last accessed 18.03.2016).
- Imaev V.S., Imaeva L.P., Smekalin O.P., Koz'min B.M., Grib N.N., Chipizubov A.V., 2015. A seismotectonic map of Eastern Siberia. *Geodynamics & Tectonophysics* 6 (3), 275–287 (in Russian) [Имаев В.С., Имаева Л.П., Смекалин О.П., Козьмин Б.М., Гриб Н.Н., Чипизубов А.В. Карта сейсмотектоники Восточной Сибири // Геодинамика и тектонофизика. 2015. Т. 6. № 3. С. 275–287] <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2015-6-3-0182>.

- Ioffe A.I., Kozhurin A.I., 1996. Database of active faults of Eurasia. *Journal of Earthquake Prediction Research* 5, 431–435.
- Jolivet M., Arzhannikov S., Arzhannikova A., Chauvet A., Vassallo R., Braucher R., 2013. Geomorphic Mesozoic and Cenozoic evolution in the Oka-Jombolok region (East Sayan ranges, Siberia). *Journal of Asian Earth Sciences* 62, 117–133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.09.017>.
- Karasyov P.S., 2009. Seismotectonics of the Transition Region from the Baikal Rift Zone to the Stanovoi Ridge Uplift. Synopsis of PhD Thesis (Candidate of Sciences – Geology and Mineralogy). Lomonosov Moscow State University, Moscow, 22 p. (in Russian) [Карасёв П.С. Сейсмотектоника области перехода Байкальской рифтовой зоны к поднятию Станового хребта: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2009. 22 с.].
- Khilko S.D., Kurushin R.A., Kochetkov V.M., Misharina L.A., Melnikova V.I., Gileva N.A., Lastochkin S.V., Baljinnyam I., Monkhoо D., 1985. Earthquakes and foundations of seismic zoning in Mongolia. Nauka, Moscow, 224 p. (in Russian) [Хилько С.Д., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Мишарина Л.А., Мельникова В.И., Гилева Н.А., Ласточкин С.В., Балжинням И., Монхоо Д. Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. М.: Наука, 1985. 224 с.].
- Khrenov P.M. (Ed.), 1982. Map of Faults of Southern East Siberia. Scale 1:1500000. VSEGEI, Leningrad (in Russian) [Карта разломов юга Восточной Сибири. Масштаб 1:1500000 / Ред. П.М. Хренов. Л.: ВСЕГЕИ, 1982].
- Koff G.L., Lobatskaya R.M., 1991. The Study of Faults During Geological Engineering Geological Surveys in Seismically Active Regions (Case of Armenia). Warsaw, 224 p. (in Russian) [Кофф Г.Л., Лобацкая Р.М. Изучение разломов при инженерно-геологических исследованиях в сейсмоактивных областях (на примере Армении). Варшава, 1991. 224 с.].
- Koronovsky N.V., Bryantseva G.V., Goncharov M.A., Naimark A.A., Kopaev A.V., 2014. Lineaments, planetary jointing, and the regmatic system: main points of the phenomena and terminology. *Geotectonics* 48 (2), 151–163. <http://dx.doi.org/10.1134/S0016852114020058>.
- Kulakov I.Yu., 2008. Upper mantle structure beneath Southern Siberia and Mongolia, from regional seismic tomography. *Russian Geology and Geophysics* 49 (3), 187–196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2007.06.016>.
- Lebedev S., Meier T., van der Hilst R.D., 2006. Asthenospheric flow and origin of volcanism in the Baikal Rift area. *Earth and Planetary Science Letters* 249 (3–4), 415–424. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2006.07.007>.
- Levi K.G., Babushkin S.M., Badardinov A.A., Buddo V.Yu., Larkin G.V., Miroshnichenko A.I., San'kov V.A., Ruzhich V.V., Wong H.K., Delvaux D., Colman S., 1995. Active Baikal tectonics. *Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics)* 36 (10), 154–163 (in Russian) [Леви К.Г., Бабушкин С.М., Бадардинов А.А., Буддо В.Ю., Ларкин Г.В., Мирошниченко А.И., Саньков В.А., Ружич В.В., Вонг Х.К., Дельво Д., Колман С. Активная тектоника Байкала // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 10. С. 154–163].
- Levi K.G., Khromovskikh V.S., Kochetkov V.M., Nikolaev V.V., Semenov R.M., Serebrennikov S.P., Chipizubov A.V., Dem'yanovich M.G., Arzhannikov S.G., Del'yansky E.A., Smekalin O.P., Ruzhich V.V., Buddo V.Yu., Masal'sky O.K., Potapov V.A., Berzhinsky Yu.A., Radziminovich Ya.B., 1996. Modern geodynamics: seismotectonics, earthquake prediction, seismic risk (fundamental and applied aspects). Part 2. In: N.A. Logachev (Ed.), *Lithosphere of Central Asia*. Nauka Press, Novosibirsk, p. 150–182 (in Russian) [Леви К.Г., Хромовских В.С., Кочетков В.М., Николаев В.В., Семенов Р.М., Серебренников С.П., Чипизубов А.В., Демьянович М.Г., Аржанников С.Г., Дельянский Е.А., Смекалин О.П., Ружич В.В., Буддо В.Ю., Масальский О.К., Потапов В.А., Бержинский Ю.А., Радзиминович Я.Б. Современная геодинамика: сейсмотектоника, прогноз землетрясений, сейсмический риск (фундаментальные и прикладные аспекты). Статья II // Литосфера Центральной Азии / Ред. Н.А. Логачев. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. С. 150–182.
- Levi K.G., Miroshnichenko A.I., San'kov V.A., Babushkin S.M., Larkin G.V., Badardinov A.A., Wong H.K., Colman S., Delvaux D., 1997. Active faults of the Baikal Basin. *Bulletin du Centre de Recherches Elf Exploration Production* 21 (2), 399–434.
- Levi K.G., Yazev S.A., Zadonina N.V., Berdnikova N.E., Voronin V.I., Glyzin A.V., Kusner Yu.S., 2002. Recent Geodynamics and Heliogeodynamcs. Publishing House of the Irkutsk State Technical University, Irkutsk, 182 p. (in Russian) [Леви К.Г., Язев С.А., Задонина Н.В., Бердникова Н.Е., Воронин В.И., Глызин А.В., Куснер Ю.С. Современная геодинамика и гелиогеодинамика. Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2002. 182 с.].
- Logachev N.A. (Ed.), 1984. *Geology and Seismicity of the BAM Zone. Neotectonics*. Nauka, Novosibirsk, 208 p. (in Russian) [Геология и сейсмичность зоны БАМ. Неотектоника / Ред. Н.А. Логачев. Новосибирск: Наука, 1984. 208 с.].
- Logachev N.A., 2003. History and geodynamics of the Baikal rift. *Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics)* 44 (5), 391–406.
- Logachev N.A., Borneyakov S.A., Sherman S.I., 2000. Mechanism of the Baikal Rift Zone Formation based on results of physical modeling. *Doklady Earth Science* 373A (6), 980–982.
- Logatchev N.A., Florensov N.A., 1978. The Baikal system of rift valleys. *Tectonophysics* 45 (1), 273–286. [http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951\(78\)90218-4](http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951(78)90218-4).
- Lunina O.V., 2002. The influence of the state of lithospheric stresses on the relationship between the parameters and the internal structure of seismically active faults. PhD Thesis (Candidate of Sciences – Geology and Mineralogy). Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, 223 p. (in Russian) [Лунина О.В. Влияние напряженного состоя-

- ния литосферы на соотношение параметров и внутреннюю структуру сейсмоактивных разломов: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2002. 223 с.].
- Lunina O.V., 2010. Activity rating of Pliocene–Quaternary faults: a formalized approach (example of the Baikal Rift System). *Russian Geology and Geophysics* 51 (4), 329–339. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2010.03.008>.
- Lunina O.V., 2015. Faults Activated in the Pliocene–Quaternary in the Southern East Siberia, and Their Role in the Development of Seismically Induced Geologic Processes. PhD Thesis (Doctor of Sciences – Geology and Mineralogy). Lomonosov Moscow State University, Moscow, 359 p. (in Russian) [Лунина О.В. Разломы плиоцен-четвертичной активизации юга Восточной Сибири и их роль в развитии сейсмически индуцированных геологических процессов: Дис. ... докт. геол.-мин. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015. 359 с.].
- Lunina O.V., Andreev A.V., Gladkov A.A., 2014a. Geological hazards associated with seismogenic faulting in southern Siberia and Mongolia: forms and location patterns. *Russian Geology and Geophysics* 55 (8), 1017–1031. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2014.07.010>.
- Lunina O.V., Andreev A.V., Gladkov A.S., 2012a. The Tsagan earthquake of 1862 on Lake Baikal revisited: a study of secondary coseismic soft-sediment deformation. *Russian Geology and Geophysics* 53 (6), 571–587. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2012.04.007>.
- Lunina O.V., Andreev A.V., Gladkov A.S., 2015. The 1950 $M_w = 6.9$ Mondy earthquake in southern East Siberia and associated deformations: facts and uncertainties. *Journal of Seismology* 19 (1), 171–189. <http://dx.doi.org/10.1007/s10950-014-9457-9>.
- Lunina O.V., Caputo R., Gladkov A.A., Gladkov A.S., 2014b. Southern East Siberia Pliocene–Quaternary faults: database, analysis and inference *Geoscience Frontiers* 5 (4), 605–619. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2013.12.006>.
- Lunina O.V., Gladkov A.S., 2002. Detailed mapping and comparative analysis of the internal structure of fault zones (case of the Baikal region). *Izvestia VUZov, Geologiya i Razvedka (Proceedings of Universities, Geology and Exploration)* (4), 30–39 (in Russian) [Лунина О.В., Гладков А.С. Детальное картирование и сравнительный анализ внутреннего строения зон разломов (на примере Прибайкалья) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2002. № 4. С. 30–39].
- Lunina O.V., Gladkov A.S., Gladkov A.A., 2012b. Systematization of active faults for the assessment of the seismic Hazard. *Russian Journal of Pacific Geology* 6 (1), 42–51. <http://dx.doi.org/10.1134/S1819714012010101>.
- Lunina O.V., Gladkov A.S., Nevedrova N.N., 2009. Rift Basins in Pribaikalie: Tectonic Structure and Development History. Academic Publishing House “Geo”, Novosibirsk, 316 p. (in Russian) [Лунина О.В., Гладков А.С., Неведрова Н.Н. Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 316 с.].
- Melnikova V.I., Radziminovich N.A., 1998. Mechanisms of action of earthquake foci in the Baikal region over the period 1991–1996. *Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics)* 39 (11), 1598–1607.
- Melnikova V.I., Radziminovich N.A., 2003. Pribaikalie and Transbaikalia. Catalog of Earthquake Mechanisms (CD-ROM). In: Earthquakes of Northern Eurasia in 1997. GS RAS, Obninsk, p. 218 (in Russian) [Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Прибайкалье и Забайкалье. Каталог механизмов землетрясений (CD-ROM) // Землетрясения Северной Евразии в 1997 г. Обнинск: ГС РАН, 2003. С. 218].
- Melnikova V.I., Radziminovich N.A., 2004a. Focal parameters of earthquakes in the Baikal region in 2003. In: Recent geodynamics and hazardous natural processes in Central Asia. Institute of the Earth’s Crust SB RAS, Irkutsk State Technical University, Irkutsk, p. 197–201 (in Russian) [Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Очаговые параметры землетрясений Байкальского региона в 2003 г. // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск: ИЗК СО РАН, ИргТУ, 2004. С. 197–201].
- Melnikova V.I., Radziminovich N.A., 2004b. Pribaikalie and Transbaikalia. Catalog of Earthquake Mechanisms (CD-ROM). In: Earthquakes of Northern Eurasia in 1998. GS RAS, Obninsk, p. 481. (in Russian) [Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Прибайкалье и Забайкалье. Каталог механизмов очагов землетрясений (CD-ROM) // Землетрясения Северной Евразии в 1998 г. Обнинск: ГС РАН, 2004. С. 481].
- Melnikova V.I., Radziminovich N.A., 2005. Pribaikalie and Transbaikalia. Catalog of Earthquake Mechanisms (CD-ROM). In: Earthquakes of Northern Eurasia in 1999. GS RAS, Obninsk, p. 731–733 (in Russian) [Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Прибайкалье и Забайкалье. Каталог механизмов очагов землетрясений (CD-ROM) // Землетрясения Северной Евразии в 1999 г. Обнинск: ГС РАН, 2005. С. 731–733].
- Molnar P., Tapponnier P., 1975. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. *Science* 189 (4201), 419–426. <http://dx.doi.org/10.1126/science.189.4201.419>.
- Nikishin A.M., Morozov A.F., Ershov A.V., Korotaev M.V., Bolotov S.N., Mezhelevsky N.V., 2007. Three-dimensional numerical geological mapping: Principles and computer programs for producing new generation maps. *Moscow University Geology Bulletin* 62 (1), 1–9. <http://dx.doi.org/10.3103/S0145875207010012>.
- Parfeevets A.V., San'kov V.A., 2006. Stress State of the Earth's Crust and Geodynamics of the Southwestern Part of the Baikal Rift System. Geo Academic Publishing House, Novosibirsk, 151 p. (in Russian) [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.].
- Petit C., Déverchère J., 2006. Structure and evolution of the Baikal rift: a synthesis. *Geochemistry Geophysics Geosystem* 7 (11), Q11016. <http://dx.doi.org/10.1029/2006GC001265>.

- Petit C., Koulakov I., Déverchère J., 1998. Velocity structure around the Baikal rift from teleseismic and local earthquake traveltimes and geodynamic implications. *Tectonophysics* 296 (1–2), 125–144. [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00140-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00140-1).
- Radziminovich N.A., Gileva N.A., Melnikova V.I., Ochkovskaya M.G., 2013. Seismicity of the Baikal rift system from regional network observations. *Journal of Asian Earth Sciences* 62, 146–161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaeas.2012.10.029>.
- Research group for active faults of Japan, 1992. Maps of active faults in Japan with an explanatory text. University of Tokyo Press, Tokyo, 73 p.
- Ruzhich V.V., 1972. Faults in the Southwestern Flank of the Baikal Rift Zone, and Some aspects of the Dynamics of Their Formation. Synopsis of PhD Thesis (Candidate of Sciences – Geology and Mineralogy). Zhdanov Irkutsk State University, Irkutsk, 23 p. (in Russian) [Ружич В.В. Разломы юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны и некоторые вопросы динамики их формирования: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск: ИГУ им. А.А. Жданова, 1972. 23 с.].
- Ruzhich V.V., 1977. Relationship between fault parameters and their practical application. In: M.M. Odintsov (Ed.), Mechanism formation of the tectonic structures of Eastern Siberia. Nauka, Novosibirsk, p. 41–48 (in Russian) [Ружич В.В. Зависимость между параметрами разрывных нарушений и их практическое применение // Механизмы формирования тектонических структур Восточной Сибири / Ред. М.М. Одинцов. Новосибирск: Наука, 1977. С. 41–48].
- Ruzhich V.V., 1980. Active faults in the area of the Kodar tunnel route, Baikal-Amur railroad. In: M.M. Odintsov (Ed.), Seismotectonics and seismicity of the BAM construction area. Nauka, Moscow, p. 77–86 (in Russian) [Ружич В.В. Активные разломы в районе Кодарского тоннеля трассы БАМ // Сейсмотектоника и сейсмичность района строительства БАМ / Ред. М.М. Одинцов. М.: Наука, 1980. С. 77–86].
- Ruzhich V.V., 1997. Seismotectonic Destruction of the Earth's Crust in the Baikal Rift Zone. Publishing House of SB RAS, Novosibirsk, 144 p. (in Russian) [Ружич В.В. Сейсмотектоническая деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 144 с.].
- San'kov V., Déverchère J., Gaudemer Y., Houdry F., Filippov A., 2000. Geometry and rate of faulting in the North Baikal Rift, Siberia. *Tectonics* 19 (4), 707–722. <http://dx.doi.org/10.1029/2000TC900012>.
- San'kov V.A., Dobrynina A.A., 2015. Modern fault formation in the Earth's crust of the Baikal rift system according to the data on the mechanisms of earthquake sources. *Doklady Earth Sciences* 465 (1), 1191–1195. <http://dx.doi.org/10.1134/S1028334X15110203>.
- San'kov V.A., Parfeevets A.V., Lukhnev A.V., Miroshnichenko A.I., Ashurkov S.V., 2011. Late Cenozoic geodynamics and mechanical coupling of crustal and upper mantle deformations in the Mongolia-Siberia mobile area. *Geotectonics* 45 (5), 378–393. <http://dx.doi.org/10.1134/S0016852111050049>.
- Sanderson D.J., Marchini W.R.D., 1984. Transpression. *Journal of Structural Geology* 6 (5), 449–458. [http://dx.doi.org/10.1016/0191-8141\(84\)90058-0](http://dx.doi.org/10.1016/0191-8141(84)90058-0).
- Sankov V.A., Dneprovsky Yu.I., Kovalenko S.N., Bornyakov S.A., Gileva N.A., Gorbunova N.G., 1991. Faults and Seismicity of the North Muya Geodynamic Polygon. Nauka, Novosibirsk, 111 p. (in Russian) [Саньков В.А., Днепровский Ю.И., Коваленко С.Н., Борняков С.А., Гилева Н.А., Горбунова Н.Г. Разломы и сейсмичность Северо-Муйского геодинамического полигона. Новосибирск: Наука, 1991. 111 с.]
- Sankov V.A., Parfeevets A.V., Miroshnichenko A.I., Sankov A.V., Bayasgalan A., Battogtokh D., 2015. Active faults paragenesis and the state of crustal stresses in the Late Cenozoic in Central Mongolia. *Geodynamics & Tectonophysics* 6 (4), 491–518 (in Russian) [Саньков В.А., Парфеевец А.В., Мирошниченко А.И., Саньков А.В., Баясгалан А., Баттогтох Д. Парагенез активных разломов и позднекайнозойское напряженное состояние земной коры центральной части Монголии // Геодинамика и тектонофизика. 2015. Т. 6. № 4. С. 491–518]. <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2015-6-4-0191>.
- Seminsky K.Zh., 2003. Internal Structure of Continental Fault Zones. Tectonophysical Aspect. Publishing House of SB RAS, Branch "Geo", Novosibirsk, 244 p. (in Russian) [Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Издательство СО РАН, Филиал «Гео», 2003. 244 с.]
- Seminsky K.Zh., 2009. Major factors of the evolution of basins and faults in the Baikal Rift Zone: tectonophysical analysis. *Geotectonics* 43 (6), 486–500. <http://dx.doi.org/10.1134/S001685210906003X>.
- Seminsky K.Zh., Gladkov A.S., Lunina O.V., Tougarina M.A., 2005. Internal Structure of Continental Fault Zones. Applied aspect. Publishing House of SB RAS, Branch "Geo", Novosibirsk, 293 p. (in Russian) [Семинский К.Ж., Гладков А.С., Лунина О.В., Тугарина М.А. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Прикладной аспект. Новосибирск: Издательство СО РАН, Филиал «Гео», 2005. 293 с.]
- Sherman S.I., 1977. Physical Regularities of Faulting in the Earth's Crust. Nauka, Novosibirsk, 102 p. (in Russian) [Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.]
- Sherman S.I., 1996. Destructive zones in the lithosphere, their state of stresses and seismicity. In: Neotectonics and recent geodynamics of continents and oceans. ITC, RAS, Moscow, p. 157–158 (in Russian) [Шерман С.И.

- Деструктивные зоны литосферы, их напряженное состояние и сейсмичность // Неотектоника и современная геодинамика континентов и океанов. М.: РАН, МТК, 1996. С. 157–158].
- Sherman S.I., 2009. A tectonophysical model of a seismic zone: experience of development based on the example of the Baikal rift system. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 45 (11), 938–951. <http://dx.doi.org/10.1134/S1069351309110020>.
- Sherman S.I., Berzhinsky Yu.A., Pavlenov V.A., Aptikaev F.F., 2003. Regional Scales of Seismic Intensity. New Scale Applied to Pribaikalie. Publishing House of SB RAS, Branch "Geo", Novosibirsk, 189 p. (in Russian) [Шерман С.И., Бержинский Ю.А., Павленов В.А., Аптикаев Ф.Ф. Региональные шкалы сейсмической интенсивности. Опыт создания шкалы для Прибайкалья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. 189 с.].
- Sherman S.I., Borneyakov S.A., Buddo V.Yu., 1985. Recommendations on estimation of width of fault zones (from physical modeling). IEC SB RAS, Irkutsk, 42 p. (in Russian) [Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Рекомендации по оценке ширины зон приразломных структурных изменений (по результатам физического моделирования). Иркутск: ИЗК СО РАН, 1985. 42 с.].
- Sherman S.I., Dneprovsky Yu.I., 1989. Crustal Stress Fields and Geological and Structural Methods of Study. Nauka, Novosibirsk, 158 p. (in Russian) [Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. Новосибирск: Наука, 1989. 158 с.].
- Sherman S.I., Levi K.G., 1978. Transform faults of the Baikal rift zone and seismicity of its flanks. In: Tectonics and seismicity of continental rift zones. Nauka, Moscow, p. 7–18 (in Russian) [Шерман С.И., Леви К.Г. Трансформные разломы Байкальской рифтовой зоны и сейсмичность ее флангов // Тектоника и сейсмичность континентальных рифтовых зон. М.: Наука, 1978. С. 7–18].
- Sherman S.I., Levi K.G., Borneyakov S.A., 1980. Block tectonics of the area between the Muayakan and Angarakan rivers, and some aspects of its seismicity. In: М.М. Odintsov (Ed.), Seismotectonics and seismicity of the BAM construction area. Nauka, Moscow, p. 43–56 (in Russian) [Шерман С.И., Леви К.Г., Борняков С.А. Блоковая тектоника Муякан-Ангараганского междуречья и некоторые вопросы сейсмичности // Сейсмотектоника и сейсмичность района строительства БАМ / Ред. М.М. Одинцов. М.: Наука, 1980. С. 43–56].
- Sherman S.I., Medvedev M.E., Ruzhich V.V., Kiselev A.I., Shmotov A.P., 1973. Tectonics and Volcanism of the Southwestern Part of the Baikal Rift Zone. Nauka, Novosibirsk, 136 p. (in Russian) [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, 1973. 136 с.].
- Sherman S.I., Seminsky K.Zh., Borneyakov S.A., Buddo V.Yu., Lobatskaya R.M., Adamovich A.N., Truskov V.A., Babichev A.A., 1992. Faulting in the Lithosphere. Tensile Stress Zones. Nauka, Siberian Branch, Novosibirsk, 227 p. (in Russian) [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 растяжения. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1992. 227 с.].
- Sherstyankin P.P., Alekseev S.P., Abramov A.M., Stavrov K.G., De Batist M., Hus R., Canals M., Casamor J.L., 2006. Computer-Based Bathymetric Map of Lake Baikal. *Doklady Earth Sciences* 408 (1), 564–569. <http://dx.doi.org/10.1134/S1028334X06040131>.
- Solonenko A.V., Solonenko N.V., Melnikova V.I., Kozmin B.M., Kuchai O.A., Sukhanova S.S., 1993. Strains and displacements in earthquake foci of Siberia and Mongolia. In: Seismicity and seismic zoning of northern Eurasia, vol. 1. UIPE, Moscow, p. 113–122 (in Russian) [Солоненко А.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Козьмин Б.М., Кучай О.А., Суханова С.С. Напряжения и подвижки в очагах землетрясений Сибири и Монголии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М.: ОИФЗ РАН, 1993. С. 113–122].
- Solonenko V.P., 1965. Live tectonics in the pleistoseist area of the Muaya earthquake. *Izvestiya AN SSSR, seriya Geologicheskaya* (4), 58–70 (in Russian) [Солоненко В.П. Живая тектоника в плейстосейстовой области Муйского землетрясения // Известия АН СССР, серия Геологическая. 1965. № 4. С. 58–70].
- Solonenko V.P., 1979. Seismology and Seismic Zoning of the BAM Route and Its Economic Influence Zone. Nauka, Novosibirsk, 70 p. (in Russian) [Солоненко В.П. Сейсмология и сейсмическое районирование трассы БАМ и зоны ее экономического влияния. Новосибирск: Наука, 1979. 70 с.].
- Solonenko V.P. (Ed.), 1981. Seismogeology and Detailed Seismic Zonation of Pribaikal'e. Nauka, Novosibirsk, 168 p. (in Russian) [Сейсмогеология и детальное сейсмическое районирование Прибайкалья / Ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1981. 168 с.].
- Solonenko V.P., Mandelbaum M.M. (Eds.), 1985. Geology and Seismicity of the BAM Zone. Seismology and Seismic Zoning. Nauka, Novosibirsk, 192 p. (in Russian) [Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмогеология и сейсмическое районирование / Ред. В.П. Солоненко, М.М. Мандельбаум. Новосибирск: Наука, 1985. 192 с.].
- Tiberi C., Diament M., Déverchère J., Petit-Mariani C., Mikhailov V., Tikhotsky S., Achauer U., 2003. Deep structure of the Baikal rift zone revealed by joint inversion of gravity and seismology. *Journal of Geophysical Research* 108 (B3), 2133. <http://dx.doi.org/10.1029/2002JB001880>.
- Trifonov V.G., 2004. Active faults in Eurasia: general remarks. *Tectonophysics* 380 (3–4), 123–130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2003.09.017>.
- Trifonov V.G., Soboleva O.V., Trifonov R.V., Vostrikov G.A., 2002. Recent Geodynamics of the Alpine-Himalayan Collision Belt. GEOS, Moscow, 225 p. (in Russian) [Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.].

- U.S. Geological Survey (and supporting agency), 2006. Quaternary fault and fold database for the United States. Available from: <http://earthquake.usgs.gov/hazards/qfaults/> (last accessed 18.03.2016).
- Ulomov V.I., 2009. On seismological engineering surveys in construction. *Inzhenernye Izyskaniya (Engineering Surveys)* (9), 28–39 (in Russian) [Уломов В.И. Об инженерно-сейсмологических изысканиях в строительстве // Инженерные изыскания. 2009. № 9. С. 28–39].
- Wells D.L., Coppersmith K.J., 1994. New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bulletin of Seismological Society of America* 84 (4), 974–1002.
- Yu Gui-hua, Du Ke-ping, Xu Xi-wei, Wu Xi-yan, Wang Yin Yu, 2012. Research on active fault database construction related issue. *Seismology and Geology* 4, 713–725.
- Zamaraev S.M., Vasiliev E.P., Mazukabzov A.M., Ruzhich V.V., Ryazanov G.V., 1979. The Ratio of Ancient and Cenozoic Structures in the Baikal Rift Zone. Nauka, Novosibirsk, 124 p. (in Russian) [Замараев С.М., Васильев Е.П., Мазукабзов А.М., Ружич В.В., Рязанов Г.В. Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск: Наука, 1979. 124 с.].
- Zonenshain L.P., Kaz'min V.G., Kuz'min M.I., 1995. New data on the Baikal history: observations from manned submersibles. *Geotektonika (Geotectonics)* (3), 46–58 (in Russian) [Зоненшайн Л.П., Казьмин В.Г., Кузьмин М.И. Новые данные по истории Байкала: результаты наблюдений с подводных обитаемых аппаратов // Геотектоника. 1995. № 3. С. 46–58].
- Zorin Yu.A., 1981. The Baikal rift: an example of the intrusion of asthenospheric material into the lithosphere as the cause of disruption of lithospheric plates. *Tectonophysics* 73 (1–3), 91–104. [http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90176-1](http://dx.doi.org/10.1016/0040-1951(81)90176-1).
- Zorin Yu.A., Turutanov E.Kh., Mordvinova V.V., Kozhevnikov V.M., Yanovskaya T.B., Treusov A.B., 2003. The Baikal rift zone: the effect of mantle plumes on older structure. *Tectonophysics* 371 (1–4), 153–173. [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00214-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00214-2).



Лунина Оксана Викторовна, докт. геол.-мин. наук, в.н.с.
Институт земной коры СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия
Тел. 8 914 885 24 09; ✉ e-mail: lounina@crust.irk.ru

Lunina, Oksana V., Doctor of Geology and Mineralogy, Lead Researcher
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS
128 Lermontov street, Irkutsk 664033, Russia
Tel. 8 914 885 24 09; ✉ e-mail: lounina@crust.irk.ru