

Карта Сейсмотектоники Восточной Сибири: новые принципы и методы построения

Л. П. Имаева¹, Г. С. Гусев², В. С. Имаев¹, О. П. Смекалин¹, И. И. Колодезников³, Н. Н. Гриб⁴ и Б. М. Козьмин⁵

Получено 5 августа 2015 г.; принято 7 августа 2015 г.; опубликовано 30 августа 2015 г.

Рассматриваются задачи, стадийность и содержание проведения сейсмотектонических исследований, как отдельного вида анализа комплексных геолого-геофизических материалов, используемых для установления тектонической природы проявлений местных землетрясений и связи с отдельными неотектоническими структурами и современными геодинамическими процессами, протекающими на территории Восточной Сибири. Сейсмогеодинамический анализ проведен для сейсмогенерирующих зон Арктико-Азиатского и Южно-Сибирского сейсмических поясов, а также прилегающего сегмента шельфа арктических морей и активизированных структур Сибирского кратона. В наиболее сейсмически активных сегментах региона изучена структурно-тектоническая позиция основных эпицентральных полей и палеосейсмогенных структур, выделены активные разломы, проведена магнитудная сегментация зон их динамического влияния, определены типы сопряжений активных структур. По степени активности и направленности геодинамических процессов разработаны региональные принципы классификации неотектонических структур с обоснованием дифференциации их классов, выделены эталонные объекты в различных тектонических обстановках, в формате атрибутивных таблиц даны их основные геолого-геофизические и сейсмотектонические параметры. Результаты исследований обобщены в карте сейсмотектоники Восточной Сибири, для которой дается краткое описание принципов и методов ее построения, приводятся наглядные примеры выделения активных разломов, палеосейсмогенных и неотектонических структур, тесно связанных с динамикой очаговых зон сильных землетрясений. Данный подход позволяет приступить к новому этапу исследований проблемы сейсмобезопасности, а созданные региональные сейсмогеодинамические модели могут быть использованы при уточнении исходного сейсмического балла существующих нормативных карт общего и детального сейсмического районирования. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** сейсмотектонические исследования; сейсмическая опасность; активные разломы; тренчинг; неотектонические структуры; зонирование геодинамической активности; динамика очаговых зон сильных землетрясений; новые геоинформационные системы; сейсмогеодинамические модели; зоны ВОЗ; сейсмические пояса и их сегменты; карта сейсмотектоники Восточной Сибири.

Ссылка: Имаева, Л. П., Г. С. Гусев, В. С. Имаев, О. П. Смекалин, И. И. Колодезников, Н. Н. Гриб и Б. М. Козьмин (2015), Карта Сейсмотектоники Восточной Сибири: новые принципы и методы построения, *Вестник ОНЗ РАН*, 7, NZ2001, doi:10.2205/2015NZ000125.

Введение

¹Институт Земной Коры СО РАН, Иркутск, Россия

²Институт Минералогии, Геохимии и Кристаллохимии Редких Элементов РАН, Москва, Россия

³Академия Наук Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

⁴Технический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального Университета, Нерюнгри, Россия

⁵Институт геологии алмаза и благородных металлов, Якутск, Россия

При проведении исследований по установлению вероятных связей разнообразных по возрасту, структурно-динамической позиции и стилю деформаций различных элементов геологических и тектонических структур горно-складчатых областей территории Восточной Сибири с сейсмической опасностью, удалось установить определенные закономерности в динамике сейсмогенерирующих структур. Исследования подобного рода известны в российской и англоязычной научной литературе, как самостоятельные сейсмотектонические исследования, глав-

ной целью которых являются: "...установление или изучение связи проявлений сейсмичности и тектоники регионов..." [Геологический ..., 1973].

Другое, более развернутое определение сейсмоструктоники приводится американскими учеными, которые утверждают, что сейсмоструктоника – "...является научной дисциплиной изучающей взаимосвязь между землетрясениями, активной тектоникой и отдельными разломами региона. Сейсмоструктоника стремится понять, какие данные несут ответственность за сейсмическую активность в конкретном районе путем анализа региональной тектоники, последних инструментально записанных сейсмических событий, исследования исторических и палеоземлетрясений, а также неотектонических и геоморфологических данных. Эта информация в дальнейшем может быть использована для количественной оценки сейсмической опасности того или иного региона. При проведении сейсмоструктонического анализа территории требуется интеграция большого количества разнородных геолого-геофизических данных ..." – (по [Allen, 1975; McCaig, 2009; Yeats et al., 1997]).

Результаты сейсмоструктонических исследований обобщаются в виде сейсмоструктонических карт, на которые наносятся данные о динамике развития неотектонических структур и зон динамического влияния активных разломов, а также отображаются эпицентральные зоны землетрясений, что позволяет установить связь сейсмических событий с особенностями тектонического (неотектонического) строения территории. Полученные результаты используются для прогноза места, силы и частоты землетрясений, а также для составления карт сейсмического районирования [Горшков, 1984; Имаев и др., 1990, 2000; Рогожин, Платонова, 2002; Рогожин, 2012; Николаев и др. 1982].

Отсутствие единого подхода и четкой регламентирующей базы, используемых геолого-геофизических характеристик среды, часто не позволяет успешно провести такие сейсмоструктонические исследования и ставит под сомнение результаты оценки уровня сейсмической опасности, полученные только методом инструментальных наблюдений и не подтвержденные сейсмоструктоническими исследованиями. В настоящей статье суммируется многолетний опыт проведения сейсмоструктонических исследований в разнообразных сегментах сейсмоактивных структур Южной и Восточной Якутии, Алтая, Саян, Тувы и области Байкальской рифтовой зоны, приводятся методические указания и обоснования целесообразности использования выбранных геолого-геофизических показателей для целей создания карты сейсмоструктоники Восточной Сибири. Как и во всех исследованиях подобного рода, эффективность и достоверность результатов сейсмоструктонических исследований во многом обеспечивается соблюдением стадийности их проведения, которые проводятся в три этапа.

Стадийность исследований

Первый этап исследований включает сбор исходного материала, совместный анализ всех имеющихся материалов по геологическому строению, сейсмическому ре-

жиму, неотектонике, истории развития рельефа, глубинному строению, напряженному состоянию и современным движениям земной коры, проводится дешифрирование материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), тем самым создается региональная сейсмоструктоническая база данных.

Второй этап включает более конкретные исследования, связанные с изучением активных разломов. Методика исследования зон динамического влияния активных разломов основана на комплексе дистанционных и полевых методов, позволяющих по проявлениям в рельефе и в составе молодых отложений выявить активные разломы, закартировать зоны связанных с ними деформаций и определить тип, амплитуду и среднюю скорость смещений. Следует особо подчеркнуть, что без реальных структурно-геологических и геоморфологических наблюдений непосредственно в полевых условиях (обязательно тренчинга), дальнейшие обобщения и построения будут недостоверными.

Третий этап (камеральный) подразумевает общую обработку результатов, как полевых, так и фондовых и литературных материалов. Результаты комплексных исследований используются для построения региональных сейсмогеодинамических и структурно-динамических моделей главных очаговых зон сильных землетрясений.

Задачи и методика сейсмоструктонических исследований

Основными элементами сейсмоструктонической модели (карты зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ)) являются источники сейсмических воздействий – площадные (домены), характеризующие рассеянную (фоновую) сейсмичность и линейные, отражающие сосредоточенную сейсмичность, т.е. потенциальные очаги сильных землетрясений (сейсмолинеаменты) [Уломов, Шумилина, 1999]. Согласно сложившейся сейсмологической практике, в качестве линейных источников рассматриваются активные разломы. Для объяснения доменной сейсмичности предложен новый критерий – геодинамически активные неотектонические зоны (ГАНЗ) [Гусев, Имаева, 2014]. ГАНЗ, с позиции системного анализа, рассматривается как пространственно локализованный целостный объект с многофакторным взаимодействием его основных компонентов в разрезе земной коры и верхней мантии (литосфере) – корово-мантийный вариант; в разрезе литосферы и нижней мантии – суперглобальный вариант. Необходимость анализа новейшей позднекайнозойской (позднеплицен-четвертичной) структуры изучаемой территории определялась тем, что новейшая тектоника представляет собой тот структурный каркас, в который вписываются активные разломы и другие проявления современной тектонической активности, напрямую связанные с региональной сейсмичностью.

Классификация ГАНЗ представляет собой систему, состоящую из 10 классов. Каждый из них характеризуется набором признаков: геодинамической обстановкой

формирования геологических структур; скоростями горизонтального (по данным GPS, геологическим и геоморфологическим данным) и вертикального движения геологических тел (мм/год); размерами их пластических (пликативных) и разрывных деформаций; направлениями силовых тектонических полей; морфоструктурными типами эндогенного рельефа суши и морей, их высотами и значениями контрастности; геофизическими (величины теплового потока и поля силы тяжести, сейсмической томографии, глубинного строения (мощность земной коры, глубина залегания поверхности Мохоровичича и астеносферного слоя, мощность верхней и нижней мантии) [Гусев, Имаева, 2014]. Поскольку построение геолого-геофизических критериев сейсмичности производилось при помощи геоинформационных технологий (ГИС-программы ArcView, ArcInfo), то изображение отдельного информационного слоя не представляет собой большой проблемы, но позволяет лучше понять распространение отдельных частей слоя в пространстве.

Следует отметить, что впервые интегральные оценки геодинамической активности тех или иных районов Азии были предложены в работах сибирских исследователей, успешно объединивших их в геодинамическую активность литосферы Азии (ГАЛА) [Логачев и др., 1987, 1991]. Такой же интегральный показатель (внерегиональный) использовался в работах по установлению сейсмической опасности различных районов Евразии [Рейснер и др., 1993].

Важнейшей составляющей сейсмоструктурной модели являются прогнозные магнитуды землетрясений. Оценка максимально возможных магнитуд ожидаемых землетрясений производится по комплексу геолого-геофизических, сейсмологических и сейсмоструктурных данных. Оценка магнитуды по комплексу сейсмоструктурных данных основывается на глобальных статистических соотношениях между магнитудой землетрясения, протяженностью разрыва и величиной подвижки по нему [Мак-Калтин, 2011; Стром, 1993; Стром, Никонов, 1997].

Конечным итогом сейсмоструктурных исследований является создание сейсмоструктурной модели региона и построение карты зон ВОЗ в крупных масштабах 1:1 000 000, 1:500 000 и 1:200 000, что позволяет перейти к картам детального сейсмического районирования (ДСР) и в конечном итоге решить проблему определения уровня сейсмической опасности конкретных народно-хозяйственных объектов. В ряде случаев такие исследования приводят к существенному сокращению участков с высокой (8–9 баллов) сейсмической опасностью по сравнению с картами общего сейсмического районирования (ОСР), что соответственно удешевляет будущее строительство. В других случаях могут быть найдены новые, ранее неизвестные источники сейсмических воздействий. Тогда уровень сейсмической опасности может быть повышен на локальных участках по сравнению с данными ОСР.

Построенная карта сейсмоструктоники Восточной Сибири представляет собой комплексную многослойную модель развития сейсмоструктурных процессов, протекающих на исследуемой территории, составленную впервые

для этой территории с использованием геоинформационных технологий. Применение новых технологий позволили при построении оперировать построенной картой, как последовательным рассмотрением нескольких информационных слоев, содержащих определенную заданную информацию, характеризующую сейсмоструктурные процессы территории Восточной Сибири (Рис. 1).

Сейсмоструктурное районирование предусматривает разделение территории на области, где ожидаемые “местные” землетрясения будут настолько слабы, что не окажут воздействия на население и систему его жизнеобеспечения, включая инженерные сооружения. Такие области считаются неспособными генерировать землетрясения и могут испытывать лишь сейсмические воздействия от удаленных сильных землетрясений. Другие области, способны генерировать коровые землетрясения и потому называются зонами возникновения очагов землетрясений (ВОЗ). Они подразделяются по их максимальной возможной магнитуде и частоте возникновения. Выделение и параметризация, т.е. оценка сейсмического потенциала зон ВОЗ производится путем комплексного применения двух равнозначных групп критериев: сейсмологической и геолого-геофизической.

Сейсмологическая группа включает в себя каталоги произошедших землетрясений: инструментальных, исторических и голоценовых палеособытий, выявляемых по геологическим и геоархеологическим данным, а также инструментальные и макросейсмические показатели распределения интенсивности сотрясений от ощутимых сейсмических событий, которые и служат основой всех дальнейших картографических построений. Кроме того, исследования планового распределения эпицентров землетрясений, помимо оценки самих сейсмических воздействий, позволяют очертить очаговые области сильных землетрясений и, тем самым, уточнить геометрию зон ВОЗ.

Приведенная карта распределения эпицентров землетрясений Восточной Сибири была построена при компиляции данных полученных региональными отделениями геофизической службы РАН и СО РАН, а также с использованием каталогов локальных землетрясений, которые доступны по литературным источникам и свободно находятся в интернет-ресурсах на сайтах [MacKey et al., 2010].

Анализ пространственного распределения эпицентров землетрясений на территории исследований показывает на приуроченность Южно-Сибирского сейсмического пояса к южной границе Сибирской платформы в области развития горно-складчатых орогенных структур Алтая, Саян, Тувы. Далее, пространственно тяготея к области Байкальской рифтовой зоны, проявления сейсмичности образуют эпицентрально-полюсные поля Олекмо-Становой области и соединяются с сейсмичностью побережья Охотского моря. Другой, Арктико-Азиатский сейсмический пояс, прослеживается от побережья моря Лаптевых и прослеживается через систему структур Верхояно-Колымской горно-складчатой области на юго-восток, соединяясь с сейсмичностью побережья Охотского моря и п-ва Камчатка.

Другим немаловажным фактором проявления силь-

ных землетрясений определенных районов служит информация о механизмах очагов сильных землетрясений, сводный анализ которых позволяет установить напряженно-деформированное состояние среды в тех или иных элементах геологической и неотектонической структур. Факты приводимых решений механизмов очагов землетрясений, были скомпилированы из многочисленных работ разных авторов и интернет-ресурсов, находящихся в свободном доступе на соответствующих сайтах американской геологической службы [Мельникова, 2008; Радзиминович и др., 2012; Старовойт и др., 2003; Еманов и др., 2012; Имаев и др., 2011; Козьмин, 1984].

Одним из главных выводов, следующих из рассмотрения пространственного распределения эпицентров землетрясений и решений фокальных механизмов их очагов, является то, что вся наблюдаемая современная сейсмичность и местоположение древних палеоземлетрясений группируются в протяженные сейсмические пояса, пространственно тяготеющие к южной и восточной границе Евразийской литосферной плиты. А тип напряженно-деформированного состояния земной коры указывает на превалирование процессов горизонтального сжатия вдоль всей континентальной части этой границы (за исключением Байкальской рифтовой области) и фрагментирование по геодинамическому принципу Южно-Сибирского и Арктико-Азиатского сейсмических поясов на отдельные сегменты.

Применение геолого-геофизической группы критериев зон ВОЗ в настоящее время состоит в выделении и параметризации активных геологических структур, в которых землетрясения определены магнитуды и частоты возникали в недавнем прошлом и могут ожидать в близком будущем, к которому относятся оценки сейсмической опасности. Материалы детального изучения активных разломов и вторичных эффектов древних землетрясений, наряду с другими сейсмотектоническими и сейсмологическими данными, ложатся в основу карты зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ), что представляется главной целью сейсмотектонических исследований [Трифонов и др., 1997; Рогожин, 2012; Имаев и др., 2000; Yeats et al., 1997; Wallace, 1997]. Поскольку активные разломы, как правило, соответствуют главным зонам возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) региона, то даже качественный анализ рисунка и параметров разломов позволяет оконтурить такие зоны и выполнить их предварительное ранжирование. Численные характеристики зон ВОЗ, среди которых определяющими являются максимальная ожидаемая магнитуда землетрясений (M_{max}) и период повторяемости таких землетрясений, в основном опирается на сейсмологические и палеосейсмологические данные.

Детальное изучение активных разломов дает возможность составить представление о структуре очага и древних, доисторических сейсмических событиях, происшедших в этих же очаговых зонах. Очаги сильных и сильнейших землетрясений представляют собой устойчивые структуры в геологической среде (активные разломы), положение которых обусловлено особым сочетанием геолого-геофизических условий, причем кинематика подвижки от раза к разу может изменяться. В большин-

стве случаев выходы очагов сильных современных землетрясений на поверхность образуют некую область – зону сейсморазрывов, для которых уместно использовать понятие “зона динамического влияния разломов”, которое разработано и введено в практику анализа дизъюнктивной тектоники С. Й. Шерманом и др. [Шерман и др., 1983].

Ширина этой зоны влияния может достигать нескольких сотен метров и даже первых километров, в зависимости от конкретных геолого-геоморфологических условий и силы землетрясения. При этом разрывы могут появляться на поверхности на разных участках зоны разлома, т.е. менять свое положение от одного землетрясения к другому. Суммарное смещение в очаге в приповерхностных условиях может рассеиваться в виде множества разрывов и связанных деформаций, однако все они образуют характерные структурные рисунки, свойственные тектоническим деформациям в целом. Обычно они приурочены к определенным геологическим структурам и формам рельефа, сформированным предыдущими сейсмическими подвижками. Эти древние события находят отражение не только в смещениях молодых отложений и форм рельефа, но и в развитии древних вторичных нарушений (палеосейсмодислокациях).

Палеосейсмологические исследования решают две основные задачи, имеющие важное практическое и теоретическое значение. Одна из них, направленная на установление величины самих палеособытий, касается выделения одноактных и приблизительно одновозрастных палеосейсмодислокаций (ПСД). Вторая связана с определением морфо-кинематических типов активных разломов, по которым происходили эти разрывообразующие палеоземлетрясения [Аржанников, 2000; Николаев и др., 1982; Смекалин и др., 2011]. В результате проведенных многолетних исследований, все установленные активные разломы были вынесены на соответствующую топографическую основу территории Восточной Сибири с возможной установленной магнитудой генерируемых ими землетрясений.

Обращает на себя внимание распространение активных разломов вдоль южной границы Евразийской литосферной плиты, в области взаимодействия ее с Амурской (Китайской) плитой и формирование пояса активных разломов вдоль восточной границы Евразийской плиты, в пределах Верхояно-Колымской складчатой системы, пространственно формирующих западную границу Североамериканской литосферной плиты. Для такого распределения разломов характерно наличие крупных сейсмолиниментов, способных генерировать самые сильные землетрясения с магнитудами $= 7.5-8.0$, развитых в осевых частях выделенных сейсмических поясов и тяготеющих к самым активным частям геодинамически активных неотектонических зон.

Заключение

Комплексный анализ геолого-геофизических, геоморфологических и неотектонических данных, систем позднекайнозойских активных разломов, сейсмичности, результаты тектонофизических исследований позволили вы-

явить на юге Восточной Сибири протяженный сейсмический пояс – Южно-Сибирский, состоящий из нескольких крупных отдельных сегментов: Алтай-Саяно-Тувинского, Байкальской рифтовой области и Олекмо-Становой зоны, соединяющих собой проявления сейсмичности сдвиговых структур Алтая, Саянской и Тувинской горно-складчатых областей, растяжения Байкальской рифтовой зоны, транспрессионные сдвигово-надвиговые перемещения Олекмо-Становой зоны и сейсмичность Охотского моря.

Другой крупный сейсмический пояс – Арктико-Азиатский прослеживается вдоль границы между Евразийской и Североамериканской литосферными плитами и соединяет собой сейсмичность побережья Арктического океана, связанную с растяжением земной коры, далее через сдвигово-надвиговые структуры, развитые на континентальном отрезке границы плит, соединяется с сейсмогенными структурами побережья Охотского моря и п-ва Камчатка.

Обобщенные материалы по сейсмо тектонике и новейшей геодинамике сейсмических поясов на северо-востоке Азии дают возможность весьма успешно вести прогноз возможных сценариев поведения сейсмической активности территории, предполагая место и предельную величину возможной сейсмической катастрофы. Определение структурной позиции позволяет предполагать наиболее опасные направления выделения сейсмической энергии и снижать степень риска расположения потенциальных народнохозяйственных объектов.

Дополнительно на карту была вынесена интенсивность возможных сейсмических сотрясений в баллах (по шкале MSK-64), соответствующая новой карте Общего сейсмического районирования РФ (ОСР-2014-В), соответствующая расчетным событиям с периодичностью 1 раз в 1000 лет. Именно такой диапазон будущих толчков соответствует интересам народно-хозяйственного освоения территории. Вместе с тем следует учесть, что рассматриваемая территория (особенно территория Якутии), все еще представляет собой весьма недостаточно изученный регион России, где происходят активные деформации между несколькими тектоническими плитами, что требует дальнейшего детального изучения отдельных частей этих сейсмических поясов. Это, прежде всего, относится к прибрежно-шельфовым областям арктических морей Восточной Сибири, с активным освоением которых, связана ближайшая стратегия развития РФ, и в конечном итоге, экономическая и социальная безопасность будущего нашей страны.

Подводя итог сейсмо тектонических исследований, можно констатировать:

1. Карта сейсмо тектоники Восточной Сибири является первым наглядным примером построения карты нового поколения (электронная база данных сейсмо тектонических параметров), которая объединяет элементы геолого-геофизических параметров и сейсмичности и объясняет особенности современной геодинамики (а соответственно и сейсмическую опасность) региона.
2. Построение таких карт позволяет перейти к со-

зданию карт детального сейсмического районирования отдельных частей активно промышленно - осваиваемых районов Восточной Сибири и обоснованно установить уровень сейсмической угрозы тех или иных районов проживания населения Сибири. Данный подход позволит приступить к новому этапу исследований проблемы сейсmobезопасности, а созданные региональные сейсmobодинамические модели будут способствовать уточнению исходного сейсмического балла существующих нормативных карт общего и детального сейсмического районирования.

3. Карта может использоваться в органах исполнительной власти отдельных районов, комитетах по чрезвычайным ситуациям - ГКЧС с целью владения информацией о возможных негативных влияниях сильных землетрясений, определения балла сейсмической угрозы конкретных населенных пунктов.

Приложение: Электронная карта

Для удобства читателей к статье приложена **электронная версия** карты сейсмо тектоники Восточной Сибири в высоком разрешении (13767x9929px, 13.9 MB; doi: 10.2205/ESDB-VONZ-125-map) Как и все материалы, публикуемые в *Вестнике ОНЗ РАН*, электронная карта и ее фрагменты могут использоваться и воспроизводиться в некоммерческих целях без специального разрешения. Для включения карты или ее фрагментов в материалы для коммерческого использования следует получить письменное согласие авторов. В любом случае предполагается обязательное и корректное цитирование источника.

Благодарности. Данное научное исследование выполнено при поддержке интеграционного проекта СО РАН и гранта Министерства Науки и Образования РФ (Госуд. задание № 5.1771.2014/К). Исследования по Арктическому сегменту территории Восточной Сибири выполнены при финансировании гранта РФ 15-17-20000.

Литература

- Аржанников, С. Г. (2000), Палеосейсмодислокации в зоне влияния Оттугтайгино-Азасского разлома (Восточная Тува), *Геология и Геофизика*, 41, No. 11, 1501–1510.
- Геологический ... (1973), *Геологический словарь (в двух томах)*, 986 с., Недра, Москва.
- Горшков, Г. П. (1973), *Региональная сейсмо тектоника территории юга СССР, Альпийский пояс*, 272 с., Наука, Москва.
- Гусев, Г. С., Л. П. Имаева (2014), Новейшая и современная тектоническая (геодинамическая) активность территории России, *Разведка и охрана недр*, No. 12, 29–35.
- Еманов, А. Ф., А. А. Еманов, Е. В. Лескова, В. С. Селезнев, Е. Г. Филина (2012), Тувинское землетрясение

- 27.12.2011 г., $M_L=6.7$ и его афтершоки, *Вестник ОНЗ РАН*, 4, NZ2002, doi:10.2205/2012NZ000112
- Имаев, В. С., Л. П. Имаева, Б. М. Козьмин (1990), *Активные разломы и сейсмоструктура Северо-Восточной Якутии*, 138 с., ЯНЦ СО АН СССР, Якутск.
- Имаев, В. С., Л. П. Имаева, Б. М. Козьмин (2000), *Сейсмоструктура Якутии*, 227 с., ГЕОС, Москва.
- Имаева, Л. П., В. С. Имаев, Б. М. Козьмин (2011), Сейсмоструктурный анализ Яно-Индигирского сегмента зоны, *Физика Земли*, No. 12, 1–14.
- Козьмин, Б. М. (1984), *Сейсмические пояса Якутии и механизмы очагов их землетрясений*, 125 с., Наука, Москва.
- Логачев, Н. А., С. Й. Шерман, К. Г. Леви (1987), Современная геодинамическая активность литосферы Сибири в кайнозое), *Геология и Геофизика*, No. 8, 3–10.
- Логачев, Н. А., С. Й. Шерман, К. Г. Леви (1991), Геодинамическая активность литосферы Азии: основы анализа и принципы картирования), *Геодинамика и развитие тектоносферы*, с. 31–349, Труды Тектонического совещания МТК, Москва.
- Мак-Калпин, Дж. П., Ред. (2011), *Палеосейсмология, в 2-х томах*, 878 с., Научный Мир, Москва.
- Мельникова, В. И. (2008), Деформационные параметры земной коры Байкальской рифтовой зоны по сейсмологическим данным, Автореф. докт. диссертации, с. 38, Институт земной коры СО РАН, Иркутск.
- Николаев, В. В., Р. Ф. Семенов, В. Г. Семенова, В. П. Солоненко (1982), *Сейсмоструктура, вулканы и сейсмическое районирование хребта Станового*, 1530 с., Наука, Новосибирск.
- Радзиминович, Я. Б., В. И. Мельникова, А. И. Середкина, Н. А. Гилева, Н. А. Радзиминович, А. А. Папкина (2012), Землетрясение 6 января 2006 г. ($M_w = 4.5$): Редкий случай проявления сейсмической активности в Восточном Забайкалье, *Геология и Геофизика*, 53, No. 10, 1430–1444.
- Рейснер, Г. И., Л. И. Йогансон, М. Г. Рейснер, Ю. Е. Баранов (1993), *Типизация земной коры и современные геологические процессы*, 208 с., ОИФЗ РАН, Москва.
- Рогожин, Е. А., С. Г. Платонова (2002), *Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене*, 130 с., ОИФЗ РАН, Москва.
- Рогожин, Е. А. (2012), *Очерки региональной сейсмоструктуры*, 340 с., ОИФЗ РАН, Москва.
- Смекалини, О. П., В. С. Имаев, А. В. Чипизубов (2011), *Палеосейсмология Восточной Сибири (некоторый опыт практического применения)*, 99 с., Институт Земной Коре СО РАН, Иркутск.
- Старовойт, О. Е., Л. С. Чепкунас, И. П. Габсатарова (2003), Параметры землетрясения 27 сентября 2003 года на Алтае по инструментальным данным, *Вестник ОНЗ РАН*, No. 1(21), 1–12.
- Стром, А. Л. (1993), Сопоставление параметров современных и палеосейсмоструктурных дислокаций, *Физика Земли*, No. 9, 38–42.
- Стром, А. Л., А. А. Никонов (1997), Корреляция между параметрами сейсмодислокаций и магнитудами землетрясений, *Физика Земли*, No. 12, 55–67.
- Трифонов, В. Г., Г. А. Востриков, Р. В. Трифонов, О. В. Соболева (1997), Активные разломы Евразии: геодинамический аспект, *Тектонические и геодинамические феномены*, с. 174–195, Наука, Москва.
- Шумилина, Л. С. (1999), Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8000000, Объяснительная записка, с. 57, ОИФЗ РАН, Москва.
- Шерман, С. Й., С. А. Борняков, В. Ю. Буддо (1983), *Области динамического влияния разломов (результаты моделирования)*, 100 с., Наука СО АН СССР, Новосибирск.
- Allen, C. R. (1975), Geological criteria for evaluating seismicity, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 86, No. 8, 1041–1057.
- Mackey, K. G., K. Fujita, H. E. Hartse, et al. (2010), Seismicity Map of Eastern Russia (1910–2–10), *Seismological Research Letters*, 81, No. 5, 761–768.
- McCalpin, J. P. (2009), *Paleoseismology*, 615 с., Academic press, Amsterdam-London.
- Wallace, R. E. (1977), Profiles and ages of young scarps, North-Central Nevada, *Bull. Geol. Soc. America*, 88, 1267–1281.
- Yeats, R. S., K. Sieh, C. R. Allen (1997), *The Geology of Earthquakes*, 568 с., Oxford University press, Oxford.
- Н. Н. Гриб, Технический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального Университета, г. Нерюнгри; Г. С. Гусев, Институт Минералогии, Геохимии и Кристаллохимии Редких Элементов РАН, г. Москва; Л. П. Имаева, В. С. Имаев, О. П. Смекалини, Институт Земной Коре СО РАН, г. Иркутск, (imaev@crust.irk.ru); Б. М. Козьмин, Институт геологии алмаза и благородных металлов, г. Якутск; И. И. Колодезников, Академия Наук Республика Саха (Якутия), г. Якутск