

СЕЙСМОГЕОДИНАМИКА ЗОНЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА И АЛДАНО-СТАНОВОГО БЛОКА

© 2016 г. Л. П. Имаева*, Б. М. Козьмин**, В. С. Имаев*, Н. Н. Гриб***

**Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
E-mail: imaeva@crust.irk.ru*

***Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН
677980, г. Якутск, просп. Ленина, 39
E-mail: b.m.kozmin@diamond.ysn.ru*

****Технический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального Университета
678930, г. Нерюнгри, ул. Кравченко, 16
E-mail: grib@nfygu.ru*

Поступила в редакцию 17.08.2015 г.

Принята к печати 17.11.2015 г.

Работа посвящена выявлению современного структурно-тектонического плана и построению тектоно-динамической модели наиболее активного в сейсмотектоническом отношении сегмента Байкальской Рифтовой Зоны (БРЗ) – ее северо-восточного фланга и сопряженной с ним системы сейсмогенерирующих структур Алдано-Станового блока, в пределах которого произошел ряд сейсмических катастроф с магнитудой более 6.0. В зонах динамического влияния региональных тектонических швов рассматриваются закономерности структурообразования и кинематические типы сопряжения активных разломов, которые образуют разломно-блоковые структуры и являются концентраторами значительных тектонических напряжений. Разрядка их проявляется в соответствии с динамикой взаимоотношения крупных тектонических блоков в виде катастрофических землетрясений ($M > 6.0$) с определенным кинематическим типом фокальных механизмов.

Ключевые слова: Сейсмичность, фокальный механизм землетрясения, геодинамика, активные разломы, разломно-блоковые структуры, структурно-динамическая модель.

ВВЕДЕНИЕ

Более чем полувековой цикл геологических, тектонических и сейсмологических исследований на территории горно-складчатого обрамления юга Восточной Сибири выявил динамически единые сейсмогенерирующие структуры, развитые в области взаимодействия Евразийской и Амурской литосферных плит. Структуры прослеживаются в пределах Лено-Амурского междуречья между 50° и 60° с. ш. от оз. Байкал на расстоянии почти 3 тыс. км в субширотном направлении в виде широкой (до 400 км) полосы сейсмичности, через Забайкалье, Южную Якутию и Приамурье к Охотскому морю (рис. 1).

Северной границей этой области является Байкало-Становой сейсмический пояс (БСП), вытянутый от Байкала вдоль южной окраины Сибирской платформы через Становое нагорье в Забайкалье, Становой хребет и примыкающее к нему с севера Алдано-Учурское плато в Южной Якутии к Охотскому морю. Он объединяет землетрясения Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) на западе и Олекмо-

Становой сейсмотектонической зоны (ОСЗ) на востоке. За почти 60 лет инструментальных наблюдений в БРЗ отмечено более 150 тыс., а в ОСЗ – свыше 40 тыс. сейсмических событий с $M \geq 2$.

Южным обрамлением области взаимодействия плит служит сгущение эпицентров землетрясений, протягивающееся из Северной Монголии через Восточное Забайкалье вдоль хребтов Тукурингра–Соктахан–Джагды в Приамурье к Охотскому морю. В пределах этой границы наиболее активна Тукурингра–Джагдинская сейсмическая зона (ТДЗ), которая наблюдается на 200 км южнее и параллельно ОСЗ между 54 и 55° с. ш. восточнее 120° в. д. В течение 40 лет в ней зарегистрировано около 8 тыс. сейсмических событий. Смещения в очагах землетрясений ОСЗ и ТДЗ по данным фокальных механизмов представлены левыми сдвигами, надвигами и взбросами [7–9, 27].

Третья Темулякит–Джелтулакская полоса сейсмичности (~ 3 тыс. землетрясений) пересекает эту территорию между 120° и 125° в. д. в субдолготном направлении от р. Лена вдоль левобережья

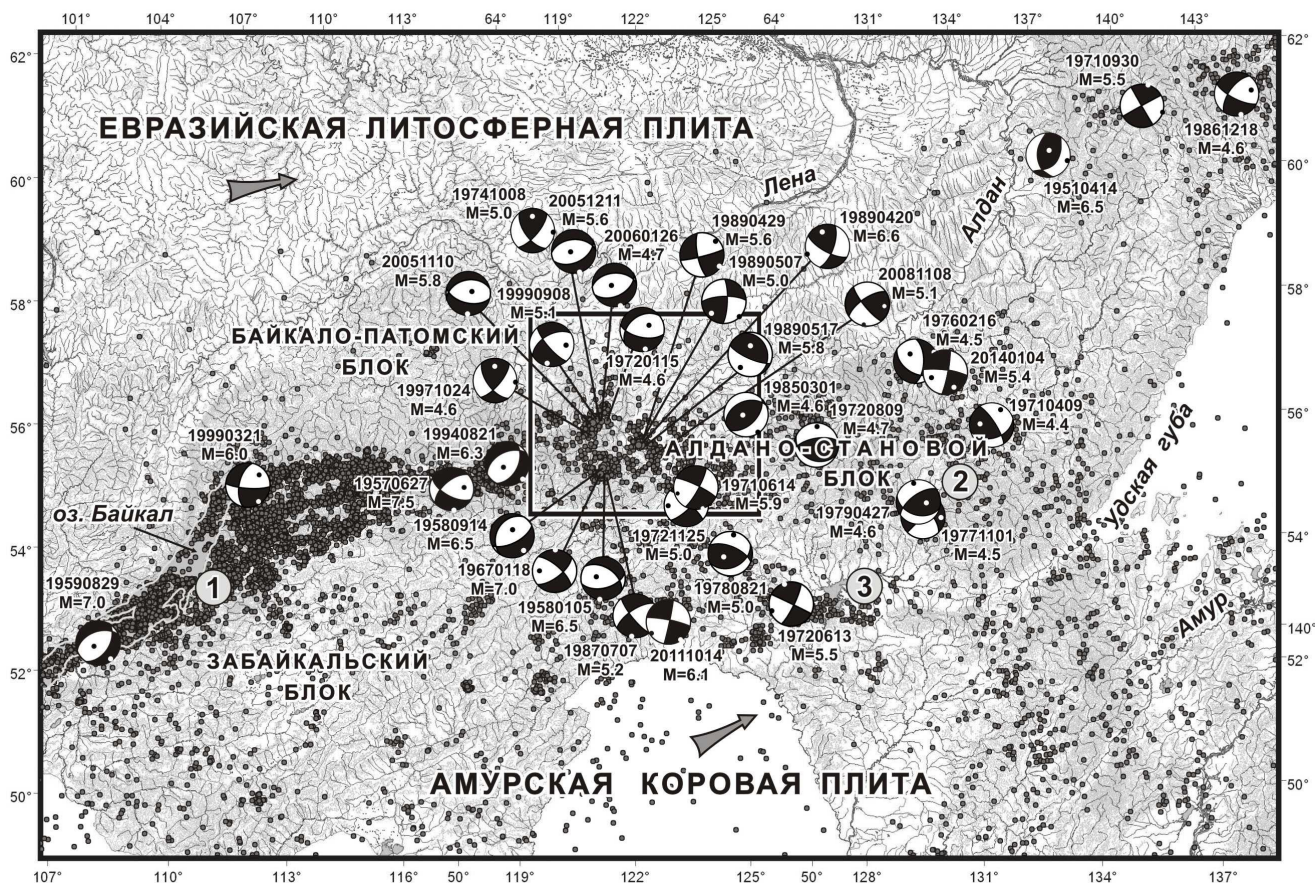


Рис. 1. Обзорная схема сейсмичности и тектонических структур территории юга Восточной Сибири.

Распределение эпицентров землетрясений (цифры в кружках): 1 – Байкальская рифтовая зона, 2 – Олекмо-Становая сейсмотектоническая зона, 3 – Тукурингра-Джагдинская сейсмотектоническая зона. Для крупных сейсмических событий приведены стереограммы фокальных механизмов, дата возникновения землетрясения и его магнитуда. Стрелками показано направление движения плит по данным GPS [7, 25]. Квадрат указывает территорию исследований.

Fig. 1. General map of seismotectonic structures of the southern part of East Siberia.

Distribution of earthquake epicenters (circled numbers): 1 – Baikal rift zone, 2 – Olekma-Stanovoy seismotectonic zone, 3 – Tukuringra-Dzhagdy seismotectonic zone. For large seismic events, focal mechanism, date of origin and magnitude are given. The arrows show the sense of plate motions from GPS data [7, 25]. The square shows the study area.

р. Олекма и ее правого притока р. Нюкжа через долину р. Амур в пределы хр. Малый Хинган в Китай. Она разделяет субширотную область взаимодействия Евразийской и Амурской литосферных плит на два блока: Забайкальский – от оз. Байкал до р. Олекма и Алдано-Становой – от р. Олекма до Охотского моря [8, 9].

Представленная сейсмотектоническая обстановка позволяет более детально рассмотреть взаимосвязи между региональными разрывными нарушениями и приуроченными к ним очагами крупных сейсмических катастроф, действующими полями тектонических напряжений, установленными по данным фокальных механизмов очагов землетрясений и геолого-структурным наблюдениям, а также представить кинематическую модель блоков, развитую в Прибайкалье, Приамурье и Южной Якутии.

ТЕКТНИКА

Территория исследования расположена на западном фланге зоны сопряжения двух крупнейших геоструктурных элементов – Сибирского кратона и Монголо-Охотского складчатого пояса, взаимодействие которых создало сложный комплекс геологических структур и тектонических блоков, сложенных преимущественно глубоко измененными горными породами гранулитовой фации метаморфизма и в меньшей степени породами амфиболитовой и зеленосланцевой фаций [21, 27].

Для данной территории предложены и обоснованы плитно-тектонические модели формирования отдельных террейнов Алдано-Станового блока [4]. Составные террейны Забайкалья и Алдано-Станового блока представляют собой коллаж микроконтинентов с раннедокембрийской корой,

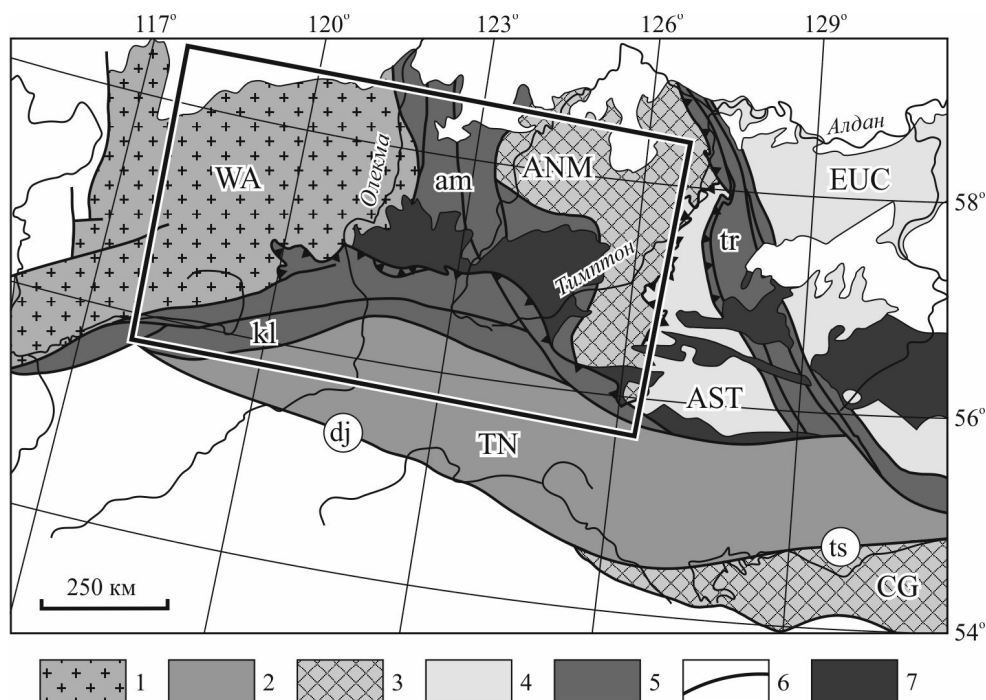


Рис. 2. Карта террейнов Алдано-Станового щита с изменениями и дополнениями (по [22]).

1–4 – террейны: 1 – гранит-зеленокаменные (WA – Западно-Алданский), 2 – тоналит- тронджемито-гнейсовые (TN – Тындинский), 3 – гранулит-ортогнейсовые (ANM – Нимнырский, CG – Чогарский), 4 – гранулит-парагнейсовые (AST – Сутамский, EUC – Учурский); 5 – зоны тектонического меланжа: am – Амгинская, kl – Каларская, tr – Тыркандинская; 6 – разломы: dj – Джелтулакский, ts – Таксакандинский; 7 – система мезозойских впадин. Учурский (EUC) террейн входит в Восточно-Алданский супертеррейн. Нимнырский (ANM) и Сутамский (AST) террейны составляют Центрально-Алданский супертеррейн. Рамкой ограничена территория исследования.

Fig. 2. Terranes map of the Aldan-Stanovoy shield (modified and supplemented from [22]).

1–4 – terranes: 1 – granite-greenstone (WA–West Aldan), 2 – tonalite-trondhjemite-gneiss (TN–Tynda), 3 – granulite-orthogneiss (ANM – Nimnyr, CG – Chogar), 4 – granulite-paragneiss (AST – Sutam, EUC – Uchur); 5 – tectonic mélange zones (am – Amginskaya, kl – Kalar, tr – Tyrkanda); 6 – faults (dj – Dzheltula, ts – Taksakanda); 7 – system of the Mesozoic basins. The Uchur terrane (EUC) forms part of the East Aldan superterrane. The Nimnyr (ANM) and Sutam (AST) terranes make up the Central Aldan superterrane. Framed is the study area.

причленение которых к Сибирскому кратону началось в протерозое и завершилось в позднем мезозое, когда прекратил свое существование Монголо-Охотский океанический бассейна. К северу от нее располагаются сооружения Байкало-Витимского и Алдано-Станового супертеррейнов, а к югу структуры Монголо-Охотского пояса.

С учетом современных геохронологических, петрографических и структурных данных эти блоки группируются в составные террейны и супертеррейны. В структурно-тектоническом отношении территория исследования расположена в основном в пределах западного фланга Алдано-Станового супертеррейна – Западно-Алданского террейна (рис. 2). На западе он граничит с Байкало-Патомским складчато-надвиговым поясом, на востоке и юге его границами являются соответственно Амгинская и Каларская шовные зоны. На севере террейн перекрыт верхнерифейскими и вендскими отложениями чехла Сибирской платформы.

Террейн сложен архейскими образованиями различного типа, метаморфизованными в широком диапазоне температур и давлений [5, 18]. Он состоит из нескольких крупных линейных блоков, разделенных четырьмя долготными поясами протяженностью в 300 км и шириной до 30 километров, что предопределило сложный современный структурно-тектонический план. Все эти блоки и зоны могут быть выделены в качестве самостоятельных террейнов, и поэтому Западно-Алданский террейн определяется как составной, состоящий из нескольких блоков.

АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ

Динамика очаговых зон сильных землетрясений и формирование морфоструктур определяются типом напряженного состояния земной коры и структурно-кинематической позицией разломов, активизированных в кайнозое. В пределах рассма-

триваемого района, отдельными исследователями в различные годы было выделено большое количество разломов различного заложения и возраста: мантийные (глубинные и сверхглубинные), функционировавшие от архея до настоящего времени, коровые и более близповерхностные докембрийского, мезозойского и кайнозойского возраста [7, 20].

Анализ их кинематических особенностей, выполненный на основе геолого-структурных и морфотектонических методов исследований, выявил разрывные нарушения различного генезиса. На рис. 3 представлена сеть региональных разрывных нарушений отраженная на обзорной сейсмоструктурной схеме. Большинство изображенных на схеме разломов имеет позднемезозойский и кайнозойский возраст. Отделить позднемезозойские разломы от кайнозойских, в том числе активных в настоящее время, затруднительно, что связано с недостаточной геологической изученностью конкретных разломов, а также с тем, что многие из позднемезозойских разломов в кайнозое активны вплоть до настоящего времени. Ведущую роль в тектоническом строении данного региона играют разрывные нарушения различного ранга, объединяемые в две региональные системы разломов – Становую (сдвиговую) и Южно-Якутскую (надвиговую).

Сдвиговые нарушения представлены региональной системой диагональных разломов северо-восточного и северо-западного направлений, включающей большое количество прямолинейных субвертикальных нарушений протяженностью в десятки километров, которые кулисообразно, продолжая друг друга, протягиваются сближенными субпараллельными группами на сотни километров. При пересечении друг с другом разломы образуют характерные ромбические блоки, которые хорошо видны на всех геологических картах Алдано-Станового блока. Судя по взаимным пересечениям, в одних районах более молодыми являются северо-западные разломы, в других – северо-восточные. К разломам приурочены зоны милонитизации, низкотемпературного диафтореза, брекчирования и т.п. мощностью до нескольких сотен метров.

Северо-восточные и северо-западные разломы, по-видимому, являются сопряженными системами сдвигов, формирование которых обусловлено общим сжатием в долготном направлении. Амплитуды латеральных смещений по разломам составляют от нескольких сотен метров до нескольких километров. Наибольшее количество таких разломов устанавливается в центральной части Алдано-Станового блока. Вместе с тем они прослеживаются через Южно-Алданскую систему впадин, отчетливо смещая ограничивающие их надвиги и взбросы, и продолжают в пределы Становой области, нарушая мезозойские батолиты. Продолжение этих разломов можно видеть в Монголо-Охотской складчатой системе и на северной окраине Буреинско-

го массива. Формирование системы диагональных разломов может быть связано с заключительными этапами коллизии Буреинского массива и Алдано-Станового блока [7, 17].

Сеть близповерхностных локальных разломов, разделяющих крупные неоднородности земной коры данного района, имеет диагональную ориентировку по отношению к сети глубинных разломов. Дислокации вдоль зон этих разломов выражены в форме мощных линейных зон трещиноватости и дробления, где в меньшей мере развиты милонитизация, гидротермальные кварцевые жилы, микроклиновые пегматиты и другие продукты калиевого метасоматоза, а также низко температурный диафторез. Полевые наблюдения показывают, что среди локальных разломов практически нет ни одного “чистого” взброса или сброса. Все они в большей или меньшей степени несут следы сдвиговых перемещений, иногда разнопеременного знака.

Надвиговая система разломов образована сопряженными зонами нарушений преимущественно взбросо-надвиговой кинематики, осложняющими южную часть Чульманской мезозойской впадины. Доминирующую роль среди них занимает плоскость Южно-Якутского взбросо-надвига, представляющего собой региональную тектоническую границу между докембрийскими образованиями Станового хребта и мезозойскими осадками Южно-Якутской системы впадин. Основная линия надвига сопровождается параллельными или диагональными разрывами второго порядка, затрагивающими как юрские отложения, так и кристаллический фундамент.

К югу от Южно-Чульманского надвига, примерно параллельно ему, выделяется несколько крутых надвигов (или взбросов), плоскости которых наклонены к югу (Беркакитский, Северо-, Центрально- и Южно-Становой разломы). Зоны этих разломов выражены развальцованными, милонитизированными и диафторизованными породами. Наряду с субширотными надвигами и взбросами трассируются также протяженные надвиги другой ориентировки. Так, юго-восточным ограничением Чульманской впадины является дугообразно изогнутый к западу, надвиг протяженностью около 25 км, полого, под углом 5–10° (по данным бурения) наклоненный к западу.

Многочисленные деформации установлены также на поверхности первой надпойменной террасы и поймы рек Унгра, Кабакта, Верх. Нерюнгри и др. Вскрытые канавами тектонические смещения молодого склонового чехла, наличие в опущенном крыле разрывов коллювиального материала и погребенных им слоев палеопочвы, свидетельствуют в пользу сейсмостектонического характера подвижек по этим разломам. Амплитуда вертикального смещения при подвижках достигала 0.3–0.5 м. Моноклинальное залегание осложняется складчатыми

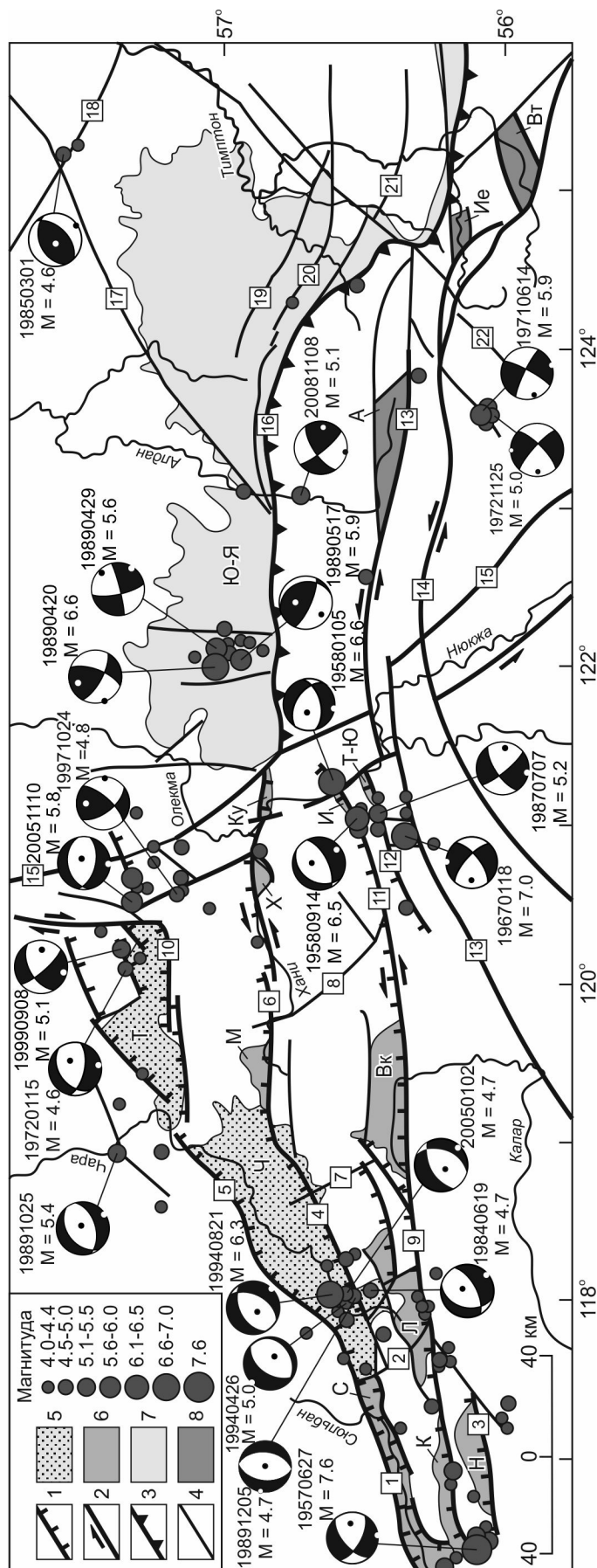


Рис. 3. Обзорная схема активных структур северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны и сопряженной системы сейсмогенерирующих структур Алдано-Станового блока по [16] с изменениями и дополнениями.

1-4 – активные разломы (цифры в квадрате): 1 – Сольбанский, 3 – Намаракитский, 4 – Новочарский, 5 – Кодарский, 6 – Ханайский, 9 – Чина-Вакатский, 10 – Токкинский, 11 – Имангринский, 12 – Тас-Юрхаский; 2 – шовные разломы (13 – Северо-Становой, 14 – Южно-Становой), 15 – Олекминский (Темур-Лякитский); 3 – взбросы и надвиги (16 – Южно-Якутский (Чульманский); 4 – активные разломы второго порядка (2 – Леприндоканский, 7 – Кеменский, 8 – Олондинский, 17 – Янгинский; 18 – Нимырский; 19 – Кабактинский; 20 – Нижне-Нерюнгринский; 21 – Беркаитский; 22 – Тимптонский); 5 – рифтовые впадины (Ч – Чарская, Т – Токкинская); 6 – эмбриональные рифтовые впадины (С – Сольбанская, К – Каундинская, Н – Намаракитская, Л – Лурбунская, М – Мурунско-Читкандинская, Х – Ханайская, Вк – Верхнекаларская, Ку – Кудулинская, И – Имангра-Чебаркасская, Т-Ю – Тас-Юрхаская); 7-8 – Мезокайнозойские прогибы: 7 – Ю-Я – Южно-Якутский мезозойский прогиб; 8 – внутригорные прогибы Станового поднятия (А – Алданский; Ие – Иенгрский; Вт – Верхне-Тимптонский). Стереограммы фокальных механизмов землетрясений (проекция нижней полусферы) приведены с датой события и его магнитудой М.

Fig. 3. Map of active faults of the northeastern side of the Baikal rift zone and the Aldan-Stanovoy block modified and supplemented from [16].

1-4 – active faults (squared numbers): 1 – Syul'ban, 3 – Namarakit, 4 – Novaya Chara, 5 – Kodar, 6 – Khani, 9 – Chyna-Vakat, 10 – Tokko, 11 – Imangra, 12 – Tas-Yuryakh; 2 – sutures (13 – North Stanovoy, 14 – South Stanovoy, 15 – Olekma (Temulyakit); 3 – reverse and thrust faults (16 – South Yakut (Chulman); 4 – subsidiary active faults (2 – Lepirindo, 7 – Kamen, 8 – Olondo, 17 – Yangin, 18 – Nymyr, 19 – Kabakta, 20 – Lower Neryungri, 21 – Berkakite, 22 – Timpton); 5 – rift basins (Ch – Chara, T – Tokko); 6 – embryonic rift basins (C – Syul'ba, K – Kaunda, H – Namarakit, L – Lurbun, M – Mururin-Chitkanda, X – Khani, Bk – Upper Kalar, Ky – Kuduli, I – Imangra-Chebarkas, T-Yu – Tas-Yuryakh); 7-8 – Meso-Cenozoic basins: 7 – Yu-Ya – South Yakut (Chul'man) Mesozoic basin, 8 – intramontane basins of the Stanovoy uplift (A – Aldan, Ie – Iengra, Br – Upper Timpton). Focal mechanism stereograms (projection of lower hemisphere), date of events and their magnitude are given.

структурами и разрывными нарушениями, количество и масштабность которых возрастают к югу. Максимальная дислоцированность мезозойских пород и морфологические проявления в четвертичных осадках и формах рельефа связаны с Кабактинской, Нижне-Нерюнгринской и Беркакитской зонами разломов.

СЕЙСМИЧНОСТЬ

На основе дополненной базы инструментальных сейсмологических данных [29] приведена сеймотектоническая характеристика крупных эпицентральных полей северо-восточного фланга БРЗ и сопряженной системы сейсмогенерирующих структур западного фланга Алдано-Станового блока, образующих отдельные локальные скопления эпицентров землетрясений. Дан анализ распределения сейсмичности в пространстве и во времени, рассмотрены механизмы очагов землетрясений и геодинамические условия возникновения сильных сейсмических событий (рис. 4).

Сейсмичность БРЗ в Чарском районе (Кодаро-Удоканский блок) представлена отдельными сильными землетрясениями и группами слабых толчков (см. рис. 4, А). С 1961 г. по настоящее время этот район по числу сейсмических событий и выделившейся сейсмической энергии значительно активнее соседнего Муйского, где произошло одно из самых сильных сейсмических событий Восточной Сибири – Муйское землетрясение 1957 г. с $M = 7.6$ [15]. Увеличение числа землетрясений в Кодаро-Удоканском блоке связано, в основном, с появлением после крупных событий их повторных толчков (афтершоков). При этом уровень, высвободившейся сейсмической энергии, изменяется здесь с определенной периодичностью и регулярностью, что свидетельствует об активности современных тектонических движений в этой части рифтовой зоны.

Эпицентральные области сильных землетрясений, произошедших в период инструментальных наблюдений, затронули три главных неотектонических структуры: Кодарский горст, Удоканское сводно-глыбовое поднятие и Чарскую впадину. Тектоническая обстановка в районе Чарской впадины, заложенной в конце палеогена-начале неогена, характеризуется наложением новейшей структуры на более древнюю структуру Алданского щита. Сама впадина вытянута в северо-восточном направлении и имеет ярко выраженную асимметрию, типичную для впадин байкальского типа. По данным геофизических исследований мощность коры под Чарской и Муйской впадинами составляет 42–45 км. На глубинах 12–18 км отмечается волновод с пониженными скоростями сейсмических волн. В региональном гравитационном поле Чарская впадина выражена локальным минимумом. Максимальное погружение фундамента наблюдается вблизи Кодар-

ского горста в сторону Удоканского поднятия, где кристаллическое ложе горста полого погружается под осадки впадины [2, 21]. Фундамент имеет блоковое строение, при этом часть блоков максимально погружена вблизи Кодарского горста. Считается, что сейсмичность во впадине может быть связана с движением погребенных блоков кристаллического основания [2].

Эпицентральные области сильных землетрясений, локализованных в Чарской впадине, приурочены к приосевой части рифтовой зоны, почти ортогонально секущей структуры древнего докайнозойского фундамента. Наиболее крупное Чарское землетрясение с $M = 6.3$ произошло в пределах одноименной впадины 21.08.1994 г. [3]. Здесь выделяется выведенный на поверхность блок архейских пород, ограниченный с запада и востока зонами глубинных разломов субмеридионального простирания. К узлам сочленений и пересечений с этими разрывами новейших рифтовых структур северо-восточной и субширотной ориентации, формирующих северный и южный борта Чарской впадины, приурочены эпицентры сильных землетрясений. Следует отметить, что с юго-запада к эпицентральной областям сильных толчков предположительно трассируются активизированные разломы, ограничивающие эмбриональную Верхнесольбанскую впадину, а с юго-востока прослеживаются тектонические нарушения северо-западного и субширотного простираний, ограничивающие молодую Ингамакитскую впадину.

Решения механизмов очагов сильных землетрясений, локализованных в Чарской впадине (см. рис. 4, А), показали, что типы смещений в плоскостях разрывов северо-восточного, субмеридионального и субширотного простираний согласуются с морфогенетическим типом и сбросовой кинематикой смещений в активизированных разломах района. В целом, индивидуальные и групповые решения фокальных механизмов других землетрясений района указывают на разные типы смещений в очагах [12, 13, 23]. Чаще всего в плоскостях разломов субмеридионального, субширотного или северо-восточного простираний реализуются смешанные типы подвижек: сдвига-сбросы (взбросы) или сбросо (взбросо)-сдвиги, но встречаются также и чисто сдвиговые или сбросовые смещения.

Особенностью поля напряжений Чарского района является стабильная ориентация осей напряжений растяжения в очагах подземных толчков – в большинстве случаев они близгоризонтальны и ориентированы на северо-запад (в северных румбах). В то же время параметры осей сжатия (азимуты и углы погружения) отличаются большим разбросом. Таким образом, можно утверждать, что рифтогенное поле тектонических напряжений, господствующее в Кодаро-Удоканском районе, контролируется сложной и разветвленной сетью раз-

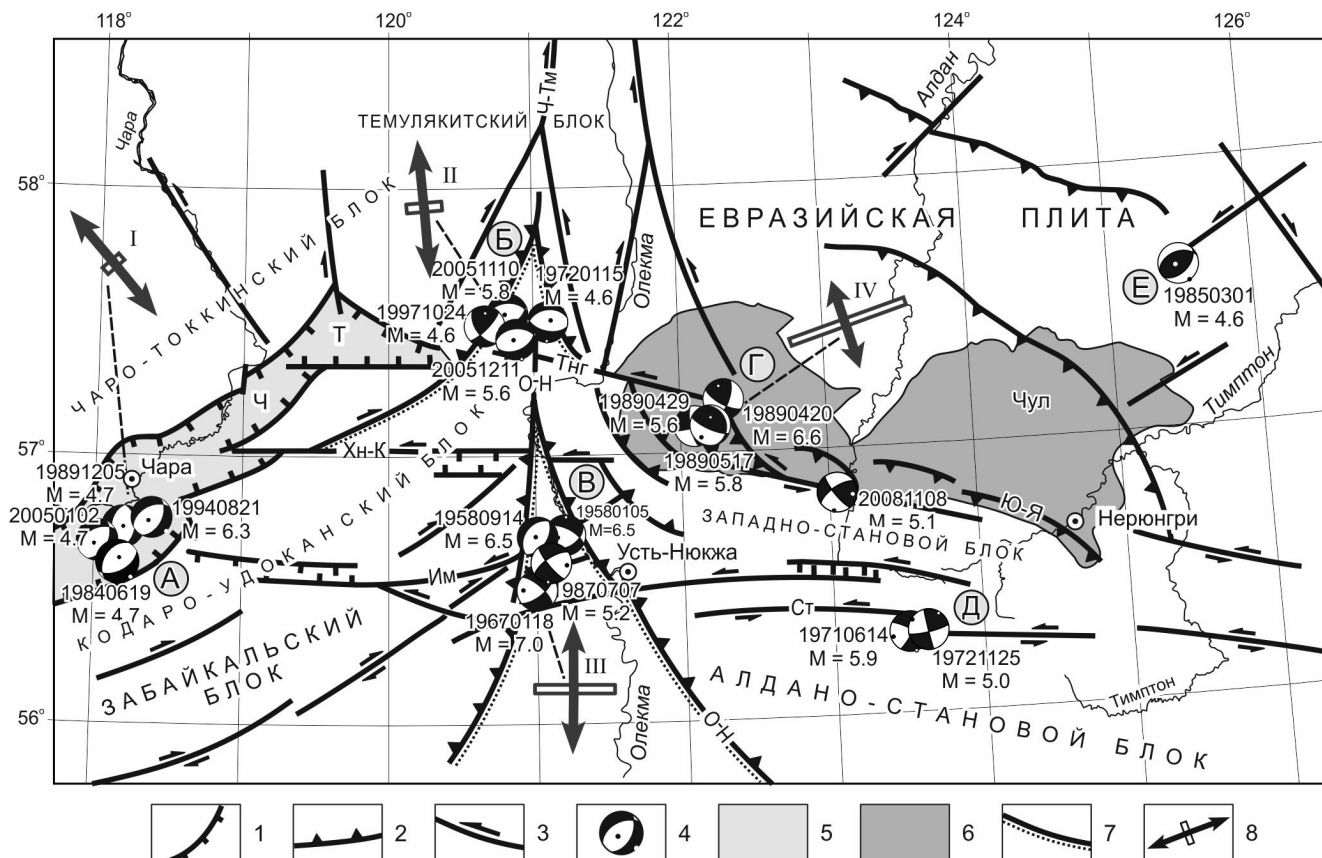


Рис. 4. Сейсмотектоническая схема северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны и сопряженной системы сейсмогенерирующих структур Западно-Становой блока.

Крупные глубинные региональные разломы, активизированные в кайнозое: 1 – сбросы; 2 – взбросы, взбросо-сдвиги, надвиги (Ю-Я – Южно-Якутский, О-Н – Олекмо-Нюкжинский); 3 – сдвиги (Ст – Становой, Хн-К – Хани-Кудулинский, Тнг – Тунгурчинский, Ч-Тм – Чаро-Темулякитский, Им – Имангрский); 4 – стереограммы фокальных механизмов землетрясений (проекция нижней полусферы) с датой их возникновения и $M = 4.7-7.0$ (черные и белые точки – положение осей сжатия и растяжения соответственно); 5 – кайнозойские впадины: Ч – Чарская, Т – Токкинская; 6 – мезозойские впадины: Чул – Чульманская; 7 – границы зоны взаимодействия блоков; 8 – горизонтальная проекция главных осей сейсмотектонических деформаций (темные расходящиеся стрелки – удлинение земной коры, светлые прямоугольники – укорочение земной коры): I – режим растяжения; II-III – переход от сдвига к растяжению, IV – переход от сдвига к сжатию. Максимумы сейсмичности: А – Чарский, Б – Олдонгсинский (Чаруодинский), В – Олекминский, Г – Южно-Якутский, Д – Ларбинский, Е – Эвотинский.

Fig. 4. Seismotectonic characteristics of the zone of contact between the Transbaikalian (northeastern side of the Baikal rift zone) and the Aldan Stanovoy block.

Deep-seated regional faults reactivated in the Cenozoic: 1 – normal faults; 2 – reverse, reverse strike-slip and thrust faults, (Ю-Я – South Yakut, О-Н – Olekma-Nyukzha); 3 – strike slips (Ст – Stanovoy, Хн-К – Khani-Kuduli, Тнг – Tungurcha, Ч-Тм – Chara-Temulyakite, Им – Imangra); 4 – focal mechanism stereograms (projection of lower hemisphere with date of origin and $M = 4.7-7.0$ (black and white points show orientation of compression and tension axes respectively); 5 – Cenozoic basins: Ч – Chara, Т – Tokko; 6 – Mesozoic basins: Чул – Chul'man; 7 – boundaries of contact zones structures; 8 – horizontal projection of major axes of seismotectonic deformations (dark diverging arrows show crust lengthening while light rectangles show crust shortening): I – extension regime; II, III – transition from strike slip to extension, IV – transition from strike slip to compression. Maximums of seismicity: А – Chara, Б – Oldongso (Charuoda), В – Olekma, Г – South Yakut, Д – Larba, Е – Evota.

норанговых разломов. Кинематика движений по выявленным разрывным нарушениям сложна и неоднородна, что в полной мере отражается в параметрах фокальных механизмов землетрясений (см. рис. 4, А).

Одним из активнейших участков Станового краевого шва является бассейн среднего течения р. Олекмы (см. рис. 4, В). В структурно-

тектоническом отношении это южная граница зоны контакта области взаимодействия сейсмогенерирующих структур северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны (Кодаро-Удоканский блок) и западного сегмента Олекмо-Становой сейсмотектонической зоны (Алдано-Становой блок). Наибольшая активность зафиксирована в районе левого берега среднего течения р. Олекма (междуречье

Тас-Юрях-Имангра, левых притоков р. Олекма), где обычно регистрируется до 80–100 толчков в год (максимальное значение сейсмической активности $A_{10} = 0.5$). Среди них отмечено несколько крупных сейсмических катастроф, в их числе: 9-балльные Олекминское и Нюкжинское 1958 г. с $M = 6.5$ и 9–10-балльное Тас-Юряхское 1967 г. с $M = 7.0$ землетрясения [15], которые сопровождались многочисленными афтершоками, а также 7-балльное Дырындинское землетрясение 1987 г. с $M = 5.2$. Наиболее ощутимым было Тас-Юряхское землетрясение, проявления которого интенсивностью от 2 до 8 баллов наблюдались на водоразделе между реками Лена и Амур на площади около 1 млн. км². Однако, за последние 40 лет в данном районе не отмечалось крупных подземных толчков с магнитудой ≥ 5.5 .

Тас-Юряхское землетрясение 1967 г. произошло вслед за Олекминским ($M = 6.5$) и Нюкжинским ($M = 6.5$) событиями 1958 г., на фоне возросшей активности слабых толчков. Территориальная близость эпицентров этих землетрясений и решения механизмов очагов (сбросы с компонентой правого сдвига по северо-восточным и левого сдвига по северо-западным плоскостям разрыва) подчеркивают их генетическое родство и могут указывать на активизацию этого участка после предшествующей этим событиям Муйской катастрофы 1957 г. с $M = 7.6$ в Байкальской рифтовой зоне.

В региональном плане, Олекминская сейсмо-активная аномалия, где зарегистрированы перечисленные землетрясения, пространственно приурочена к Олекминскому и Тас-Юряхскому блокам сжатия. Их северной границей являются Хани-Кудулинский и Имангрский левые сдвиги, а южной – система левых сдвигов Станового разлома. Названные блоки также структурно ограничены субдолготными кулисами Олекмо-Нюкжинского разлома правосдвиговой кинематики, секущего вкрест простирания общий субширотный план Станового поднятия (см. рис. 3, 4, В). Структура грабена Имангра-Чебаркас пересекает вкрест простирания Олекминский блок сжатия и является более молодой, наложенной структурой растяжения между Имангрским и Северо-Становым разломами левосдвиговой кинематики. Параллельно ему, в Олекминском блоке локализованы более мелкие структуры растяжения, по которым заложены притоки р. Олекма, смещенные в плане по типу правого сдвига. На левобережье р. Олекма от Имангрского разлома в зоне сочленения его с диагональной перемычкой (Имангра-Чебаркаский грабен) в субширотном и северо-западном направлениях ответвляется серия левых сбросо-сдвигов, образующих структуры “конского хвоста”. Весь комплекс активизированных разломов сдвиго-сбросовой и сбросовой кинематики оконтуривает всю зону растяжения, соответствующую Олекминской аномалии сейсмоактивной среды.

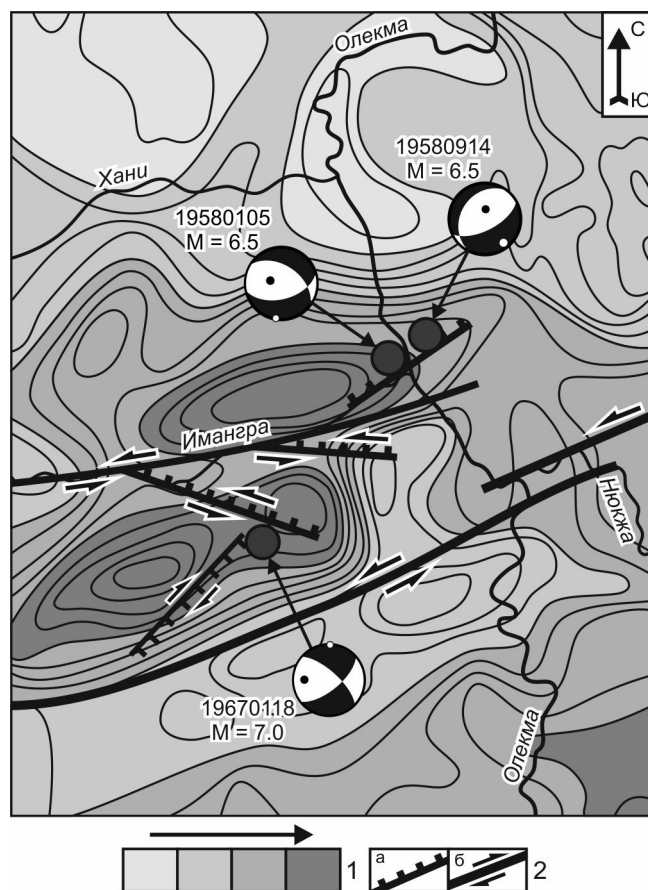


Рис. 5. Особенности поля силы тяжести и активные разломы Олекминского эпицентрального поля.

1 – аномалии силы тяжести, стрелкой показано направление их увеличения; 2 – активные разломы: а – сбросы, б – сдвиги. Темные кружки – эпицентры Олекминского (1958.01.05, $M = 6.5$), Нюкжинского (1958.09.14, $M = 6.5$) и Тас-Юряхского (1967.01.18, $M = 7.0$) землетрясений и их фокальные механизмы (стереограммы). Черные и белые точки внутри стереограмм – положение осей сжатия и растяжения соответственно.

Fig. 5. Gravity anomalies and active faults of the Olekma epicentral field.

1 – gravity anomalies, arrow shows the direction in which they increase; 2 – active faults: a – normal fault, b – strike slip. Dark circles are epicenters of the Olekma (January 5, 1958, $M = 6.5$), Nyukzha (September 14, 1958, $M = 6.5$) and Tas-Yuryakh (January 18, 1967, $M = 7.0$) events and their focal mechanisms (stereograms). Black and white points show orientation of compression and tension axes respectively.

Сопоставление в пределах рассматриваемого Олекминского эпицентрального поля распределения аномалий поля силы тяжести, имеющих мозаичную форму, с проявлениями сейсмичности показало приуроченность максимума сейсмичности к изометричной положительной аномалии (рис. 5). Подобная аномалия может свидетельствовать о присутствии здесь крупной неоднородности в верхах земной ко-



Рис. 6. Пространственное распределение эпицентров землетрясений Олдонгсинского 1997 г. и Чаруодинского 2005 г. роев в бассейне р. Олекма и ее левого притока Олдонгсо на Олекмо-Чарском нагорье (максимум сейсмичности “Б” на рис. 4).

1–3 – эпицентры землетрясений роев за период наблюдений: 1 – 1997–2000 гг., 2 – 2001–2003 гг., 3 – 2004–2005 гг.; 4 – крупные события роев с $M \geq 4.5$ и год их возникновения; 5 – трасса Байкало-Амурской магистрали.

Fig. 6. Spatial distribution of earthquake epicenters of the Oldongso (1997) and Charuoda (2005), earthquake swarms in the river basins of Chara and its left-side tributary Oldongso within the Olekma-Chara highlands (maximum of seismicity “B” on fig. 4).

1–3 – epicenters of swarm earthquakes during the observation period: 1 – 1997–2000, 2 – 2001–2003, 3 – 2004–2005; 4 – large swarm earthquakes with $M \geq 4.5$ and their year of origin; 5 – route of the Baikal-Amur railroad.

ры (местные землетрясения фиксируются на глубинах 8–30 км) и связана с блоком высокоплотностных нижнепротерозойских магматических пород.

В течение последних 15 лет северо-восточный фланг Кодаро-Удоканского блока (см. рис. 4, Б) подвергся воздействию двух крупных роев землетрясений, которые произошли в пределах Олекмо-Чарского нагорья, в зоне перехода от северо-восточного окончания Байкальской рифтовой зоны к Алдано-Становому блоку [8, 10, 19]. Сильнее всего из рассматриваемых событий ощущалось Чаруодинское землетрясение 10 ноября 2005 года. Оно является самым крупным сейсмическим событием в Южной Якутии за последние 20 лет инструментальных наблюдений. Интенсивность сотрясений в плейстосейстовой зоне данного события могла до-

стигать 8 баллов (шкала MSK-64). В его последовательности зафиксированы два максимальных подземных удара 10.11.2005 г. с $M = 6.0$ (8 баллов) и 11.12.2005 г. с $M = 5.7$ (7–8 баллов) и многочисленные роевые землетрясения, сопровождаемые повторными толчками.

Все проявления роевой сейсмичности 1997–2010 гг. локализованы на левобережье р. Олекмы между ее притоками Олдонгсо и Хани, они заняли площадь около 900 км². Очаги зарегистрированных землетрясений происходили в интервале глубин 5–29 км [6, 24]. В течение указанного периода наблюдалась отчетливая миграция повторных толчков в северо-восточном (азимут $\approx 48^\circ$) направлении от долины р. Ат-Бастаах (приток р. Хани) к руслу р. Олдонгсо (левый приток р. Олекма). Северо-восточная

ориентация зоны роевых событий и их смещение относительно друг друга уверенно подтверждается изменением положения эпицентров местных наиболее интенсивных землетрясений во времени (рис. 6).

Между Байкальским рифтом (режим растяжения земной коры) и Алдано-Становым блоком (обстановка сжатия) длительное время господствовало смешанное поле тектонических напряжений [19, 24] под воздействием которых в сети разломов северо-восточного заложения сначала возник Олдонгсинский рой 1997 г. и были частично сняты накопленные упругие напряжения. Перераспределение и концентрация их на северо-восточном фланге роя, куда к 2005 г. переместились эпицентры сейсмических событий, вызвало “оживление” разломов субширотного простирания и возник Чаруодинский рой 2005 г. Землетрясения этого роя оказались приуроченными к широтным локальным зонам растяжения по северной границе Ат-Бастахской группы интрузивных массивов [10, 19]. При этом смешанное взбросо-сбросо-сдвиговое поле напряжений, присущее Олдонгсинскому рою, сменилось на сбросовое. На это указывают параметры фокальных механизмов рассмотренных землетрясений (см. рис. 3 и 4).

Одним из крупных сейсмических событий в пределах Олекмо-Становой сеймотектонической зоны явилось Южно-Якутское землетрясение 20 апреля 1989 г. с $M = 6.6$ (рис. 4, Г). Оно возникло в пределах земной коры на глубине 27 км, что существенно больше среднего значения глубины очагов ($h = 10-15$ км) для землетрясений, отмеченных в Южной Якутии. Эпицентр толчка был приурочен к мезозойской Чульманской впадине и локализован в бассейне среднего течения р. Тунгурчи. Следует заметить, что сравнительно небольшие сейсмонарушения рельефа в эпицентральной зоне этого сотрясения связаны с существенной заглубленностью его гипоцентра ($h = 27$ км при мощности земной коры в этом районе до 50 км [17]. Следствием этого явилась также обширная территория площадью более 1.2 млн. км² в Забайкальском крае, Иркутской и Амурской областях, Республике Саха (Якутия) и на севере КНР, где проявились макроэффекты землетрясения от 2 до 7 баллов по шкале MSK-64.

Механизм очага Южно-Якутского землетрясения и его афтершоков (рис. 7) выявил, что тип смещения в очаге землетрясения относится к взбросо-сдвигам. Найдены две возможные плоскости раз-

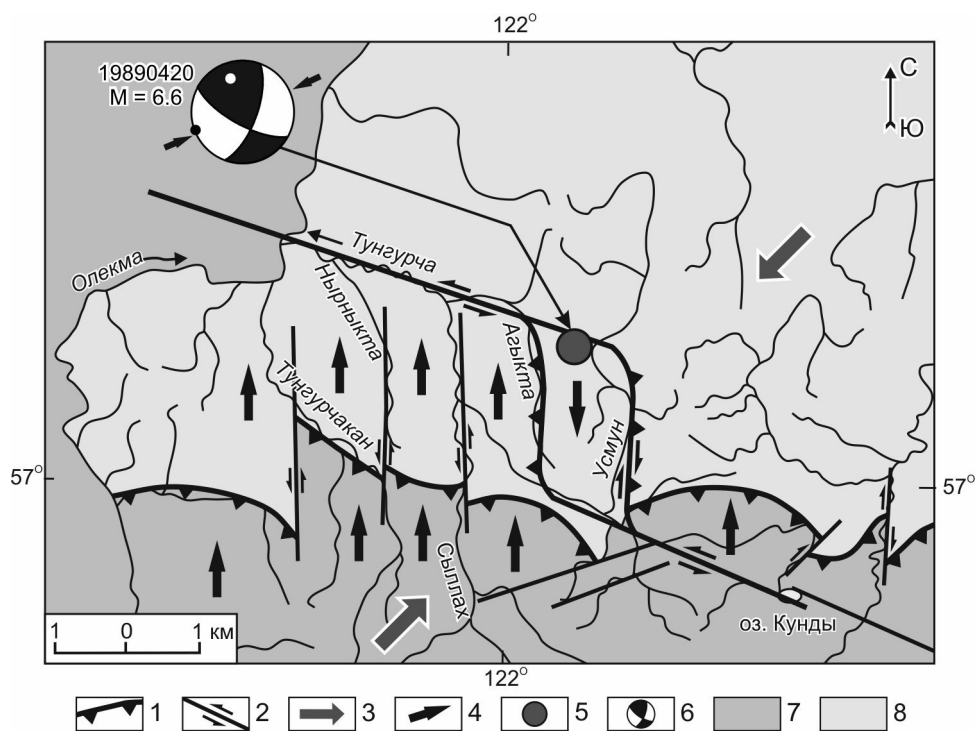


Рис. 7. Схема сеймотектоники и блокового строения района Южно-Якутского землетрясения.

1 — Южно-Якутский надвиг, 2 — локальные сдвиги, 3 — направление регионального сжатия, 4 — направление топографических уклонов, 5 — эпицентр Южно-Якутского землетрясения, 6 — фокальный механизм, 7 — архейские и протерозойские образования Становой складчатой зоны, 8 — мезозойские отложения Чульманской впадины.

Fig. 7. Seismotectonic characteristics of the South Yakut earthquake area.

1 — South Yakut thrust, 2 — local strike slips, 3 — direction of regional compression, 4 — direction of topographic slopes, 5 — epicenter of the South Yakut earthquake, 6 — focal mechanism, 7 — Archean and Proterozoic rocks of the Stanovoy folded zone, 8 — Mesozoic rocks of the Chul'man basin.

рыва: NP1 близдолготного простираения при крутом ее падении (67°) на юго-восток с подвижкой по ней типа взброса с правосторонним сдвигом и NP2 юго-восточного простираения с падением на юго-запад под углом к горизонту в 70° и движением по ней типа взброса с левосторонним сдвигом (см. рис. 7). При этом, сжимающие усилия – горизонтальны и действовали в северо-восточном направлении, а напряжения растяжения имели азимут 340° и были наклонены к горизонту под углом 32° . Промежуточные напряжения близвертикальны и ориентированы в субдолготном направлении (азимут 158°).

Современный тектонический план района Южно-Якутского землетрясения определяет система молодых разломов (Тунгурчинский, Усмунский, Агиктинский, Сыллахский и др.), которые надежно диагностируются по аэрофото- и космоснимкам, а также другим геолого-геофизическим признакам (приспособление к разломам гидро-сети, приуроченность к ним магнитных и гравитационных аномалий). Вся совокупность повторных толчков сосредоточена, главным образом, в Агикта-Усмунском блоке, заключенном между Усмунским (на востоке), Агиктинским (на западе) и Тунгурчинским (на севере и юге) разломами, а также имеет аномальный топографический уклон к югу (см. рис. 7).

В зоне динамического влияния южных кулис Станового краевого шва в верховьях р. Нижняя Ларба (бассейн р. Нюкжа) локализован Ларбинский максимум, возникший при Ларбинском землетрясении 14.06.1971 г. с $M = 5.9$. После него в течение года была зафиксирована небольшая серия повторных толчков с $M \geq 2.5$ (см. рис. 4, Д). Интенсивность главного толчка 1971 года в эпицентре достигала 7–8 баллов. Оно ощущалось в Южной Якутии и на севере Амурской области на площади около 100 тыс. км². Сильный повторный толчок Ларбинского землетрясения с $M = 5.0$ произошел здесь 25 ноября 1972 г. Его интенсивность в эпицентре могла достигать 5–6 баллов.

Решение механизма очага основного события выявило две плоскости разрыва, первая NP1 имеет субширотное простираение, согласное с направлением разрывных нарушений Станового разлома, другая NP2 – расположена субдолготно и перпендикулярна к первой. Обе плоскости – близвертикальны. Оси тектонических напряжений сжатия и растяжения – близгоризонтальны и составляют с направлением на север углы 252° и 162° соответственно. Промежуточное напряжение ориентировано субширотно под углом 76° к горизонту. Кинематический тип подвижки в очаге соответствует чистому сдвигу. Скорее всего, Ларбинское землетрясение произошло в результате смещения по типу левого сдвига в субширотной плоскости, совпадающей по направлению с расположением в пространстве области повторных толчков [11].

ТЕКТОНОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Одной из последних обобщающих работ, в которой была предпринята попытка рассмотреть всю совокупность сейсмогенерирующих структур зоны взаимодействия северо-восточного фланга БРЗ и Алдано-Станового блока, является публикация московских сейсмогеологов из Института Физики Земли РАН [16]. В этой публикации показано, что предложенная ими геодинамическая модель базируется на представлении о независимом подставлении по простираению структур одного подвижного блока структурами другого. При этом между ними наблюдается достаточно резкая граница, проходящая по Олекминско-Нюкжинской системе трансформных разломов близмеридионального простираения. Комплексный анализ имеющихся в настоящее время в нашем распоряжении геологических, неотектонических, геофизических, геодезических и сейсмологических данных не позволяет согласиться с такими представлениями о природе Олекмо-Становой сейсмической зоны.

Сопоставление результатов сеймотектонического изучения территории [7, 10, 12, 14,] с данными измерений на геодезических полигонах в Южной Якутии [1] и материалами космического позиционирования (GPS наблюдения) [28], выполненными в последние годы, подтверждает наличие этой контактной зоны и свидетельствует в пользу механизма блокового взаимодействия, что позволяет представить следующую модель современной сейсмогеодинамики исследуемого района.

Алдано-Становой блок, зажаты между Забайкальским блоком, Евразийской и Амурской плитами, испытывает давление со стороны Забайкальского блока. Последний в связи с раскрытием Байкальского рифта смещается к юго-востоку со скоростью 0.5–0.7 см/год [26] и способствует перемещению Алдано-Станового блока на восток к Охотскому морю. Это не противоречит результатам триангуляционных измерений на геодинамических полигонах в районе Станового хребта, где средние скорости горизонтальных смещений реперов в восточном направлении достигают 0.3 см/год [1]. При этом в зоне контакта Забайкальского и Алдано-Станового блоков в условиях сжатия возникли определенные парагенезисы активных разломов: в осевой зоне – Чаро-Темулякитские взбросо-сдвиги, с запада – Кодаро-Удоканские правые взбросо- и сбросо-сдвиги северо-восточного простираения, с востока – Западно-Становые левые сдвиги и взбросо-сдвиги северо-западного и субширотного направления. Эти разломно-блоковые структуры геометрически сопряжены между собой по кинематическому типу обратной Y-структуры (см. рис. 4).

В соответствии с ориентировкой поля тектонических напряжений (меридиональное растяжение, широтное сжатие), по северо-восточным и

северо-западным разломам фиксируются сдвиго-взбросовые подвижки, а по разломам субширотного плана должны наблюдаться сбросовые смещения. Подобный тип смещений способствует появлению на внешних флангах данной структуры областей сжатия, а внутри нее – областей растяжения. Указанные соотношения находят отражение в морфоструктурных элементах современного рельефа в бассейне среднего течения р. Олекма и подтверждаются решениями фокальных механизмов Олекминских землетрясений и группы Чаруода-Олдонгсинских событий на Олекмо-Чарском нагорье. При этом вдоль долины р. Олекма также формируется система взбросов и надвигов противоположной вергентности к фронтальным структурам Забайкальского блока.

С юга на Алдано-Становой блок оказывает воздействие Амурская плита, которая смещается к восток-северо-востоку со скоростью 1.0–1.3 см/год [25] и поддерживает движение блока в восточном направлении. В итоге, рассматриваемые структуры одновременно смещаются к востоку, но за счет меньшей скорости движения Алдано-Становой блок отстает от Амурской плиты, что способствует развитию на их границе левых сдвигов. Это согласуется с данными геоморфологических исследований в пределах Тукурингро-Джагдинской зоны, где Южно-Тукурингский разлом трассируется вдоль полосы контрастного сочленения Верхне-Урканской впадины и поднятия хр. Тукурингра. Здесь названный разлом смещает влево (к западу) молодые (плейстоцен-голоцен) пойменные отложения в верховьях небольших северных притоков р. Уркан (правого притока р. Зея). Максимальная амплитуда таких смещений достигает 0.8 км. В этом случае средняя скорость горизонтальных движений по типу левого сдвига, если считать, что смещение происходило с начала верхнего плейстоцена (130 тыс. лет), будет составлять 0.5–0.6 см/год [14]. Кроме того, подвижки типа левого сдвига подтверждаются параметрами фокальных механизмов сильных землетрясений (левые сдвиги, надвиги, взбросы), отмеченных в Тукурингра-Джагдинской зоне в 1972–1989 гг. [11, 17].

В целом, напряженно-деформированное состояние земной коры зоны сопряжения северо-восточного фланга БРЗ (Кодаро-Удоканский блок) и Западно-Станового блока, выявленное по механизмам сильных землетрясений основных эпицентральных полей (см. рис. 4), характеризуется суперпозицией сжимающих и растягивающих усилий. Сдвиговые сейсмотектонические деформации (по сейсмологическим данным), в зависимости от структурно-тектонического плана, сочетаются с компонентами удлинения земной поверхности к западу, или укорочения к востоку от среднего течения р. Олекма.

В итоге, установленные закономерности в проявлении сейсмичности, характере полей текто-

нических напряжений и развитии определенных парагенезисов разломов, возникших на границах блоков зоны сопряжения северо-восточного фланга БРЗ (Кодаро-Удоканский блок) и Алдано-Станового блока, определяют современный морфотектонический план и отражают динамические условия взаимодействия двух крупных террейнов – Забайкальского и Западно-Станового, которые перемещаются с разными скоростями и сближаются, “догоняя” друг друга в субширотном направлении. Наибольшая концентрация землетрясений в виде сейсмических зон и эпицентральных полей наблюдается во фронтальных частях этой контактной области, возникшей между названными блоками, вдоль системы правосторонних сдвигов и сдвиго-сбросов северо-восточного фланга БРЗ и левосторонних сдвигов и взбросо-сдвигов Западно-Станового блока.

Данное исследование выполнено при поддержке интеграционного проекта СО РАН и гранта Министерства Науки и Образования РФ (Гос. задание № 5.1771.2014/К), а также частично при поддержке гранта Российского научного фонда 15-17-20000.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров Г.В., Замараев Н.Н. (1991) Геодезические измерения на геодинамических полигонах Южной Якутии. *Геодезия и картография* (3), 30–34.
2. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Инженерная геология и инженерная сейсмология. (1985) Новосибирск: Наука, 192 с.
3. Голенецкий С.И. (2000) Прибайкалье и Забайкалье. *Землетрясения Северной Евразии в 1994 году*. М.: ГС РАН, 65–79.
4. Гусев Г.С., Хаин В.Е. (1995) О соотношениях Байкало-Витимского, Алдано-Станового и Монголо-Охотского террейнов (юг Средней Сибири). *Геотектоника* (5), 68–82.
5. Дук В.Л., Кицул В.И., Петров А.Ф. и др. (1986) Ранний докембрий Южной Якутии. М.: Наука, 280 с.
6. Землетрясения России в 2005 году. (2007) Обнинск: ГС РАН, 180 с.
7. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. (2000) Сейсмотектоника Якутии. М.: ГЕОС, 226 с.
8. Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С. (2007) Сейсмотектоническая позиция западного фланга Олекмо-Становой зоны (Южная Якутия). *Отеч. геология* (5), 114–117.
9. Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С. (2008) Морфотектоника и разломно-блоковые структуры юго-восточного фланга Олекмо-Становой сейсмотектонической зоны. *Отеч. геология* (5), 50–56.
10. Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С., Слепцов С.В. (2004) Сейсмотектоника западной части Олекмо-Становой области. *Отеч. геология* (4), 57–60.
11. Козьмин Б.М., Имаев В.С., Имаева Л.П. (2001) Сейсмичность и современная геодинамика. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики*

- ки Саха (Якутия). М.: МАИК "Наука/Интерпериодика", 33-67.
12. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. (1998) Механизм очагов землетрясений Байкальского региона за 1991–1996 гг. *Геология и геофизика* **39**(11), 1598-1607.
 13. Мишарина Л.А. (1978) Напряженное состояние земной коры в районах БАМ по данным о механизме очагов землетрясений. Геологические и сейсмические условия района БАМ. Новосибирск: Наука, 150-161.
 14. Николаев В.В., Семенов Р.М., Солоненко В.П. (1979) Сейсмогеология Монголо-Охотского линеймента (восточный фланг). Новосибирск: Наука. 114 с.
 15. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. (1977) М.: Наука, 536 с.
 16. Овсяченко А.Н., Трофименко С.В., Мараханов А.В. и др. (2010) Сейсмоструктура переходной области от Байкальской рифтовой зоны к орогенному поднятию Станового хребта. *Геотектоника* (1), 29-51.
 17. Парфенов Л.М., Козьмин Б.М., Имаев В.С. и др. (1985) Геодинамика Олекмо-Становой сейсмической зоны. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 136 с.
 18. Петров А.Ф. (1976) Докембрийские орогенные комплексы запада Алданского щита. Новосибирск: Наука, 120 с.
 19. Радзиминович Н.А., Мельникова В.И., Козьмин Б.М., Татомир Н.В. (2004) Олдонгсинский рой землетрясений 1997–2002 гг. на северо-восточном фланге Байкальской рифтовой зоны. *Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов*. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 193-196.
 20. Разломная тектоника территории Якутской АССР. (1976) Якутск: ЯФ СО АН СССР, 173 с.
 21. Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы. (1977) (Отв. ред. В.П. Солоненко). Новосибирск: Наука, 304 с.
 22. Смелов А.П., Зедгенизов А.Н., Тимофеев В.Ф. (2001) Фундамент СевероАзиатского кратона – Алданостановой щит. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия)*. М.: Наука, 81-108.
 23. Солоненко А.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Козьмин Б.М., Кучай О.А., Суканов С.С. (1993) Напряжения и подвижки в очагах землетрясений Сибири и Монголии. *Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии*. М.: ОИФЗ РАН, Вып. 1, 113-122.
 24. Шибеев С.В., Петров А.Ф., Козьмин Б.М., Имаева Л.П., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., Тимиршин К.В., Петрова В.Е., Гилева Н.А., Пересыпкин Д.М. (2011) Чаруодинский рой землетрясений 2005 года и его ощутимые землетрясения: Чаруодинское-I 10 ноября с $K_p = 15.7$, $M_w = 5.8$, $I_0 = 8$ и Чаруодинское-II 11 декабря с $K_p = 14.8$, $M_w = 5.7$, $I_0 = 7$ землетрясения (Южная Якутия). *Землетрясения Северной Евразии в 2005 году*. Обнинск: ГС РАН, 404-418.
 25. Apel E.V., Burgmann R., Steblov G., Vasilenko N., King R., Prytkov A. (2006) Independent active microplate tectonics of northeast Asia from GPS velocities and block modeling. *Geophys. Res. Lett.* **33**(11). L 11303.
 26. Calais E., Lesne O., Deverchère J., San'kov V., Lukhnev A., Miroshnichenko A., Buddo V., Levi K., Zalutsky V., Bashkuev Y. (1998) Crustal deformation in the Baikal rift from GPS measurements. *Geoph. Res. Lett.* **25**(21), 4003-4006.
 27. Mackey K.G., Fujita K., Gunbina L., Kozmin B., Imaev V., Imaeva L., Sedov B. (2003) Explosion contamination of the northeast Siberian seismicity catalog: implications for natural earthquake distributions and the location of the Tanlu fault in Russia. *Bull. Seismol. Soc. Amer.* **93**, 737-746.
 28. San'kov V., Déverchère J., Gaudemer Y. et al. (2000) Geometry and rate of faulting in the North Baikal Rift, Siberia. *Tectonics*. **19**(4), 707-722.
 29. <http://www.ceme.gsr.ru>.

Seismogeodynamics of interaction area of the Baikal rift northeastern flank and Aldan-Stanovoy block

L. P. Imaeva*, B. M. Kozmin** V. S. Imaev* N. N. Grib***

*Institute of the Earth's Crust

**Institute of Diamond and Precious Metal Geology

***Technical Institute (branch) of the North-East Federal Universitet

The article presents modern structural-tectonic plan and tectonic-dynamic model of the zone of interaction of the most seismicity active northeastern part of the Baikal rift zone (BRZ) and the adjoint system seismogenic structures of the Aldan-Stanovoy block in southern Yakutia, where is marked a series of seismic disasters with magnitude $M \geq 6$. The patterns of structure formation and kinematic types of adjoint active faults, which form structural blocks, where accumulate considerable tectonic stress are discussed. The interaction between large tectonic blocks causes a sudden release of stresses, which results in catastrophic earthquakes ($M \geq 6.0$) with focal mechanisms of definite kinematic type.

Keywords: *seismicity, earthquake focal mechanism, geodynamics, active fault, structural block, tectonic-dynamic model.*

REFERENCES

- Bocharov G.V., Zamaraev N.N. (1991) Geodetic measurements in geodynamic polygons of Southern Yakutia. *Geodeziya i kartografiya*. (3), 30-34. (In Russian).
- Geologiya i sejsmichnost' zony BAM. Inzhenernaya geologiya i inzhenernaya seismologiya*. (1985) [Geology and seismicity of the BAM zone. Geological and seismological engineering]. Novosibirsk: Nauka Publ., SO, 192 p. (In Russian).
- Golenetsky S.I. (2000) Pribaikal'e and Transbaikali'e. *Earthquakes in northern Eurasia in 1994*. Moscow: GS RAN Publ., 65-79 (In Russian).
- Gusev G.S. and Khain V.E. (1995) On the relationship between the Baikal-Vitim, Aldan-Stanovoy and Mongol-Okhotsk terranes (southern Middle Siberia). *Geotektonika*. (5), 68-82. (In Russian).
- Duk V.L., Kitsul V.I., Petrov A.F. et al. (1986) *Rannij dokembrij Yuzhnoj Jakutii* [Early Precambrian of South Yakutia]. Moscow: Nauka Publ., 280 p. (In Russian).
- Zemletrjasenija Rossii v 2005 godu*. (2007) [Earthquakes in Russia in 2005]. Obninsk: GS RAN Publ., 180 p. (in Russian).
- Imaev V.S., Imaeva L.P., Kozmin B.M. (2000) *Sejsmotektonika Jakutii* [Seismotectonics of Yakutia]. Moscow: GEOS Publ., 226 p. (In Russian).
- Imaeva L.P., Kozmin B.M., Imaev V.S. (2007) Seismotectonic position of the western side of the Olekma-Stanovoy zone (South Yakutia). *Otechestvennaya Geologiya*. (5), 114-117. (In Russian).
- Imaeva L.P., Kozmin B.M., Imaev V.S. (2008) Morphotectonics and fault-block structures on the southeastern side of the Olekma-Stanovoy seismotectonic zone. *Otechestvennaya Geologiya*. (5), 50-56. (In Russian).
- Imaeva L.P., Kozmin B.M., Imaev V.S., Sleptsov S.V. (2004) Seismotectonics of the western part of the Olekma-Stanovoy area. *Otechestvennaya Geologiya*. (4), 57-60. (In Russian).
- Kozmin B.M., Imaev V.S., Imaeva L.P. (2001) Seismicity and modern geodynamics. *Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Sakha Republic (Yakutia)*. Moscow: MAIK Publ., 33-67. (In Russian).
- Mel'nikova V.I., Radziminovich N.A. (1998) Focal mechanisms of earthquakes in the Baikal region in 1991-1996. *Geol. Geofiz.* **39**(11), 1598-1607 (In Russian).
- Misharina L.A. (1978) Stressed state of the Earth's crust in the BAM area from focal mechanism data. *Geological and seismic conditions in the BAM area*. Novosibirsk: Nauka Publ., 150-161 (In Russian).
- Novy catalog sil'nykh zemletrjasenii na territorii SSSR*. (1977) [New catalogue of strong earthquakes on the USSR territory. Moscow: Nauka Publ., 536 p. (In Russian).
- Nikolaev V.V., Semyonov R.M. and Solonenko V.P. (1979) *Seismogeologiya Mongolo-Okhotskogo lineamenta (vostochnyi flang)* [Seismogeology of the Mongol-Okhotsk lineament (eastern side)]. Novosibirsk: Nauka Publ., 112 p. (In Russian).
- Ovsyuchenko A.N., Trofimenko S.V., Marakhanov A.V. et al. (2010) Seismotectonics of the transitional area from the Baikal rift zone to the orogenic uplift of the Stanovoy Range. *Geotektonika* (1), 339-351 (In Russian).
- Parfenov L.M., Kozmin B.M., Imaev V.S. et al. (1985) *Geodinamika Olekmo-Stanovoj sejsmicheskoy zony* [Geodynamics of the Olekma-Stanovoy seismic zone]. Yakutsk: YaF SO AN SSSR Publ, 136 p. (In Russian).
- Petrov A.F. (1976) *Dokembrijskie orogennye komplekсы zapada Aldanskogo shchita* [Precambrian orogenic complexes in the western Aldan shield]. Novosibirsk: Nauka Publ. 120 p.
- Radziminovich N.A., Mel'nikova V.I., Kozmin B.M., Tatomir N.V. (2004) The 1997-2002 Oldongso earthquake swarm on the northeast side of the Baikal rift zone. *Geodynamics and geological changes of the environment in northern regions*. Arkhangel'sk: IEPS UrO RAN, V. 2, 193-196 (in Russian).
- Razlomnaya tektonika territorii Jakutskoj ASSR*. (1976) [Fault tectonics of the Yakut ASSR territory]. Yakutsk: YaF SO AN SSSR Publ., 173 p. (In Russian).
- Seismic zoning of East Siberia and its geological-geophysical basics. (Edited by V.P. Solonenko). (1977) Novosibirsk: Nauka Publ., 304 p. (in Russian).
- Smelov A.P., Zedgenizov A.N., Timofeev V.F. (2001) The basement of the North Asian craton. Aldan-Stanovoy shield. *Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia) territory*. Moscow: Nauka Publ, 81-108 (In Russian).
- Solonenko A.V., Solonenko N.V., Mel'nikova V.I. et al. (1993) Stresses and motions in the earthquake foci in Siberia and Mongolia. *Seismicity and seismic zoning of northern Eurasia*. Moscow: OIFZ RAN Publ, Issue 1, 113-122. (In Russian).
- Shibaev S.V., Petrov A.F., Kozmin B.M., Imaeva L.P., Mel'nikova V.I., Radziminovich N.A., Timirshin K.V., Petrova V.E., Gileva N.A., Peresypkin D.M. (2011) The 2005 Charuoda earthquake swarm and its felt shocks: the December 10 Charuoda-I with $K_p = 15.7$, $M_w = 5.8$, $I_0 = 8$ and the December 11 Charuoda-II with $K_p = 14.8$, $M_w = 5.7$, $I_0 = 7$ (south Yakutia). *Zemletrjasenija Severnoi Evrazii v 2005 godu*. Obninsk: GS RAN Publ, 404-418. (In Russian).
- Apel E.V., Burgmann R., Steblov G., Vasilenko N., King R., Prytkov A. (2006) Independent active microplate tectonics of northeast Asia from GPS velocities and block modeling. *Geophys. Res. Lett.* **33**(11). L 11303.
- Calais E., Lesne O., Deverchère J., San'kov V., Lukhnev A., Miroshnichenko A., Buddo V., Levi K., Zalutsky V., Bashkuev Y. (1998) Crustal deformation in the Baikal rift from GPS measurements. *Geoph. Res. Lett.* **25**(21), 4003-4006.
- Mackey K.G., Fujita K., Gunbina L., Kozmin B., Imaev V., Imaeva L., Sedov B. (2003) Explosion contamination of the northeast Siberian seismicity catalog: implications for natural earthquake distributions and the location of the Tanlu fault in Russia. *Bull. Seismol. Soc. Amer.* **93**, 737-746.
- San'kov V., Déverchère J., Gaudemer Y. et al. (2000) Geometry and rate of faulting in the North Baikal Rift, Siberia. *Tectonics*. **19**(4), 707-722.
- <http://www.ceme.gsras.ru>.