

УДК 551.248(571.56)

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЯНО-ИНДИГИРСКОГО СЕГМЕНТА ЗОНЫ ЧЕРСКОГО

© 2011 г. Л. П. Имаева¹, В. С. Имаев¹, Б. М. Козьмин²

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

²Институт геологии алмаза и благородных металлов, г. Якутск

Поступила в редакцию 22.06.2010 г.

Для создания модели современной геодинамики Яно-Индибирского сегмента сейсмостектонической зоны Черского проанализированы кинематические типы сейсмогенерирующих структур, также морфотектонические особенности современного рельефа и соответствующие им поля тектонических напряжений, установленные на основе решений фокальных механизмов очагов местных землетрясений и типов позднекайнозойских складчатых и разрывных деформаций. Установлено, что в пределах Яно-Индибирского сегмента сейсмостектонической зоны Черского в условиях транс-прессии (сжатия со сдвигом) имеет место определенная кинематическая обстановка, обусловленная взаимодействием сопряженных разнонаправленных сдвигов. Подобные условия возможно смоделировать, если представить, что при сближении Северо-Американской и Евразийской литосферных плит роль активного индентора выполнял Колымо-Омолонский блок (супертеррейн), находящийся во фронтальной части Северо-Американской плиты.

Ключевые слова: геодинамика, сейсмостектоническая зона Черского, активные разломы, индентор, динамика сейсмогенерирующих структур

ВВЕДЕНИЕ

Комплексные геолого-геофизические и сейсмологические исследования выявили на территории северо-востока Азии протяженный – Арктико-Азиатский (ААСП) сейсмический пояс [Chapman, Solomon, 1976; Зоненшайн, Савостин, 1979; Козьмин, 1984], геодинамические процессы в котором являются индикаторами сейсмостектонических деформационных преобразований в зонах контактного взаимодействия главных литосферных плит (Северо-Американской, Тихоокеанской и Евразийской). В структурно-тектоническом плане ААСП подразделяется на несколько сегментов с развитием в их пределах характерных структурных парагенезисов, связанных с определенным типом напряженного состояния земной коры [Имаев и др., 2000; 2009]. Научные исследования последних лет демонстрируют значительный прогресс в познании фундаментальных особенностей сейсмогеодинамических процессов различных сегментов северо-востока Азии [Имаев и др., 2007; 2009; Рундквист и др., 2001; Mackey et al., 2007; Fujita et al., 2009; Имаев и др., 2009].

Обобщение материалов инструментальных наблюдений, принадлежащих филиалам Геофизической службы РАН и СО РАН, а также совместный анализ сводной карты сейсмичности северо-востока России [Mackey et al., 2007] и данных геологоструктурных [Парфенов и др., 2001] и морфотектонических [Имаев и др., 2009] исследований поз-

волили уточнить динамику сейсмогенерирующих структур наименее изученного сегмента ААСП – Яно-Индибирского. В основу сейсмостектонических исследований данного сегмента положена концепция о структурно-динамическом единстве геофизической среды и развивающихся в ней сейсмогеодинамических процессах, методические основы которой разработаны в Институте физики земли РАН [Уломов, 1995; Shebalin et al., 1995; Уломов, Шумилина, 1998]. Пересмотр полученных ранее сейсмостектонических данных [Имаев и др., 1990; 2000] обусловлен подготовкой исходного материала для создания карт общего сейсмического районирования следующего поколения – ОСР – 2012 [Уломов, Никитин, 2010].

В процессе исследований решался комплекс следующих задач:

– анализ опубликованных структурно-тектонических, геолого-геофизических и сейсмологических данных, построение дополнительных схем, характеризующих общий морфотектонический план региона;

– выявление сейсмостектонической реактивации позднемезозойской тектонической структуры, установление ее влияния на новейший структурный план и тип кайнозойских деформационных процессов;

– уточнение кинематики движений на границах Яно-Индибирского сегмента и разработка ре-

гиональной структурно-динамической модели главных сейсмогенерирующих зон.

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Предшествующая современному этапу тектоническая история формирования структурных элементов системы хр. Черского обусловлена активными тектоническими процессами, протекавшими здесь в поздней юре-нижнем мелу, когда структуры пассивной континентальной окраины, развитые на восточном обрамлении Сибирской платформы, столкнулись с Алазейской островной дугой [Парфенов, 1984]. В последнее время структура земной коры территории мезозойд связывается с коллизией Северо-Азиатского кратона с Колымо-Омолонским блоком (супертеррейном), пространственно занимающим место ранее выделявшегося на всех тектонических картах Колымо-Омолонского срединного массива [Парфенов и др., 2001].

Результатом столкновения этих структур явилось образование сложных складчатых деформаций в мощных терригенных отложениях, включающих толщи карбона, перми, триаса и юры, представленных в настоящее время совокупностью синклинориев и антиклинориев Верхояно-Колымской складчатой системы. В настоящее время в пределах Верхояно-Колымских мезозойд выделяется внешняя часть, которая состоит из Верхоянского складчато-надвигового пояса, примыкающего к Сибирской платформе и внутренняя, соответствующая сеймотектонической зоне Черского, которая имеет значительно более сложную структуру, включающую большое количество интенсивных складчатых линейных зон, а также ряд блоков земной коры (террейнов), характеризующихся высокой степенью сейсмической активности [Имаев и др., 1990; 2000].

Яно-Индибирский сегмент зоны Черского в тектоническом плане включает фронтальные зоны Колымо-Омолонского блока и ряд террейнов (Полоусно-Дебинский, Омилевский, Нагоджинский и др.) различной геодинамической природы, расположенных к северу и северо-западу от среднего течения р. Индибирка (рис. 1). По серии северо-западных разломов сдвиговой кинематики террейны разобщены на отдельные блоки, наиболее крупные из которых Чемалгинский, Тас-Хаяхтахский, Селенняхский и др.

Складчато-надвиговая динамика террейнов сформирована в процессе нескольких этапов деформаций. Величина горизонтального укорочения, рассчитанная по сбалансированным разрезам, за счет надвиговых перемещений, составляет 35–40% (рис. 2). В северо-восточной и северо-западной зонах сегмента значительную роль играют соответственно право-сдвиговые и лево-сдвиго-

вые наложенные дислокации. Наиболее крупный из разломов — Сетанчанский надвиг прослеживается на 100 км и выражен полосой меланжированных, раздробленных и катаклазированных пород. По данному разлому триасовые отложения террейна тектонически перекрывают юрские отложения Полоусного синклинория. Амплитуды горизонтальных перемещений по разлому оцениваются в первые десятки километров [Гусев, 1979; Прокопьев, Дейкуненко, 2001]. Таким образом, деформационная структура Яно-Индибирского сегмента характеризуется надвиговыми, взбросо-сдвиговыми и сдвиговыми перемещениями.

МОРФОТЕКТОНИКА

Морфотектонический план Яно-Индибирского сегмента сеймотектонической зоны Черского представлен структурами северного фланга фронтальной зоны взаимодействия Евразийской и Северо-Американской плит. Зона коллизии, обладающая специфическим от смежных деформационных зон глубинным строением, включает коллаж тектонических структур (террейнов), возникших в определенных геодинамических условиях, характеризующихся в современном плане комплексом морфотектонических и разрывных элементов (разломно-блоковых структур).

По своей структурно-тектонической позиции, типу неотектонических движений и морфологии современного рельефа в пределах сегмента выделяются крупные морфотектонические единицы регионального плана: горная система хр. Черского, группа Момо-Селенняхских впадин и Момский хребет (рис. 3).

Горная система хр. Черского в пределах рассматриваемой территории имеет форму выпуклой к западу дуги и протягивается от верховьев р. Ольджо (правый приток р. Адыча) на северо-западе, до бассейна р. Индибирки на юго-востоке. Это сложное горное сооружение представляет собой совокупность почти параллельных хребтов различной длины, расположенных кулисообразно или продолжающих друг друга. Простираение и морфологический облик хребтов генетически predeterminedены структурно-тектоническим положением, региональным полем тектонических напряжений и динамикой генеральных разломов левосдвиговой кинематики.

Главным хребтом северной цепи на левобережье р. Индибирка является Догдо-Чемалгинский (высота до 2500 м). В истоках р. Нахатта от него кулисообразно следится хр. Тас-Хаяхтах (до 2500 м), который севернее р. Ойосордох продолжается хр. Хадаранья. Между хребтами Хадаранья и Курундя расположена крупная Неннелинская межгорная впадина. В месте слияния рек Мюрюле и Чибгалах от Догдо-Чемалгинского хребта в севе-

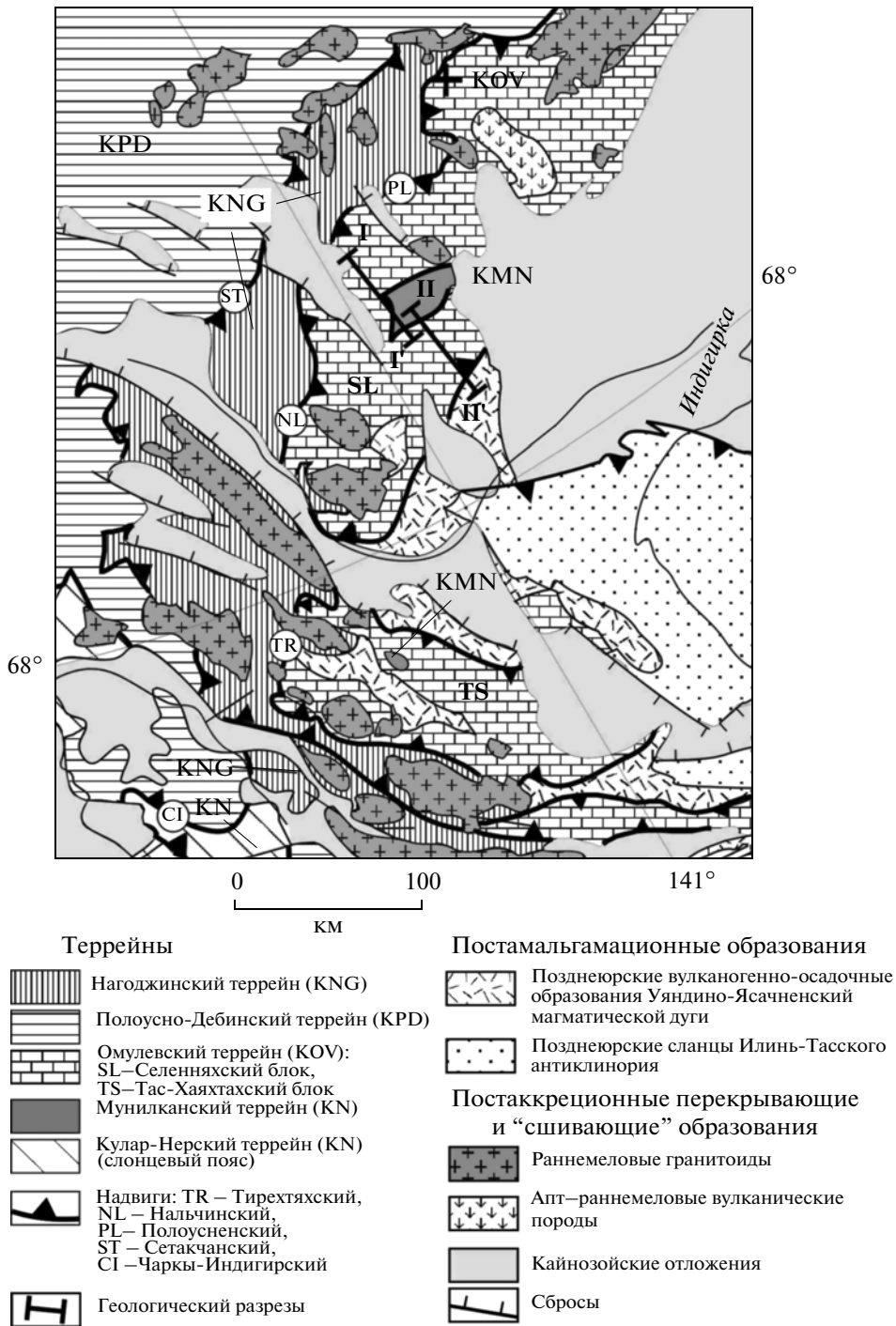


Рис. 1. Тектоническое положение и сводная стратиграфическая колонка Яно-Индибирского сегмента (по [Парфенов и др., 2001] с изменениями).

ро-западном направлении отзвляется Чибалахский хребет с высотами более 2500 м. Между западными окончаниями Догдо-Чемалгинского и Чибалахского хребтов вклиниваются Окраинный (до 1800 м) и Коэгинский (до 2000 м) хребты. Южную цепь горной системы представляет хр. Боронг, служащий водоразделом рек Яны и Индибирки и

протягивающийся от устья р. Чаркы на северо-западе до верховьев р. Иньяли на востоке. На его восточном продолжении, несколько отступая к северу, расположен хр. Порожный с абсолютными высотами до 2600 м. От места его сочленения с хр. Боронг, отзвляется небольшой хр. Ольчанский (до 2500 м). Все названные хребты отделяют-

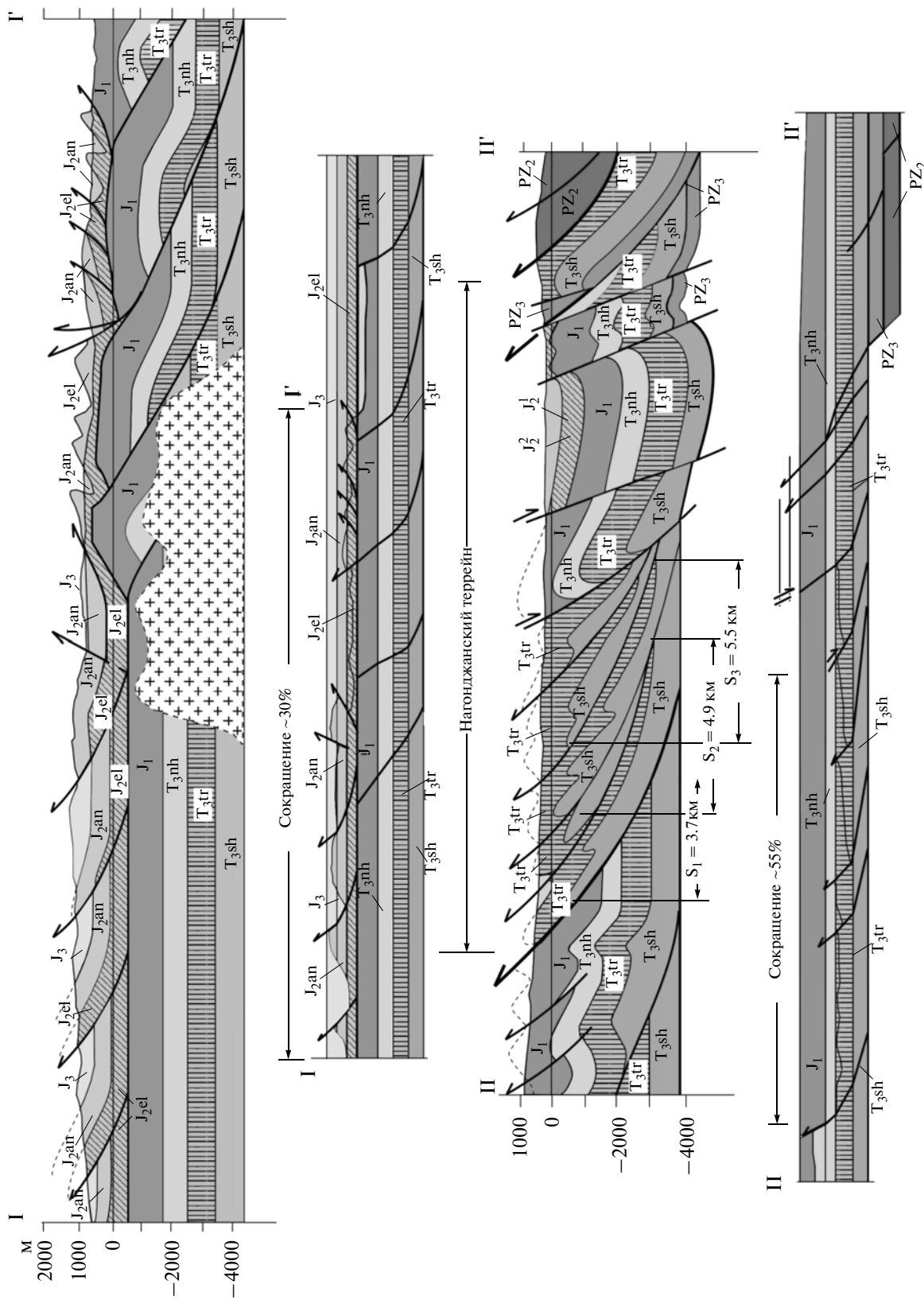


Рис. 2. Сбалансированные и реконструированные разрезы Южной зоны Полоусного синклинария и Нагонджанского террейна (по [Парфенов и др., 2001]). Местоположение разрезов см. на рис. 1.

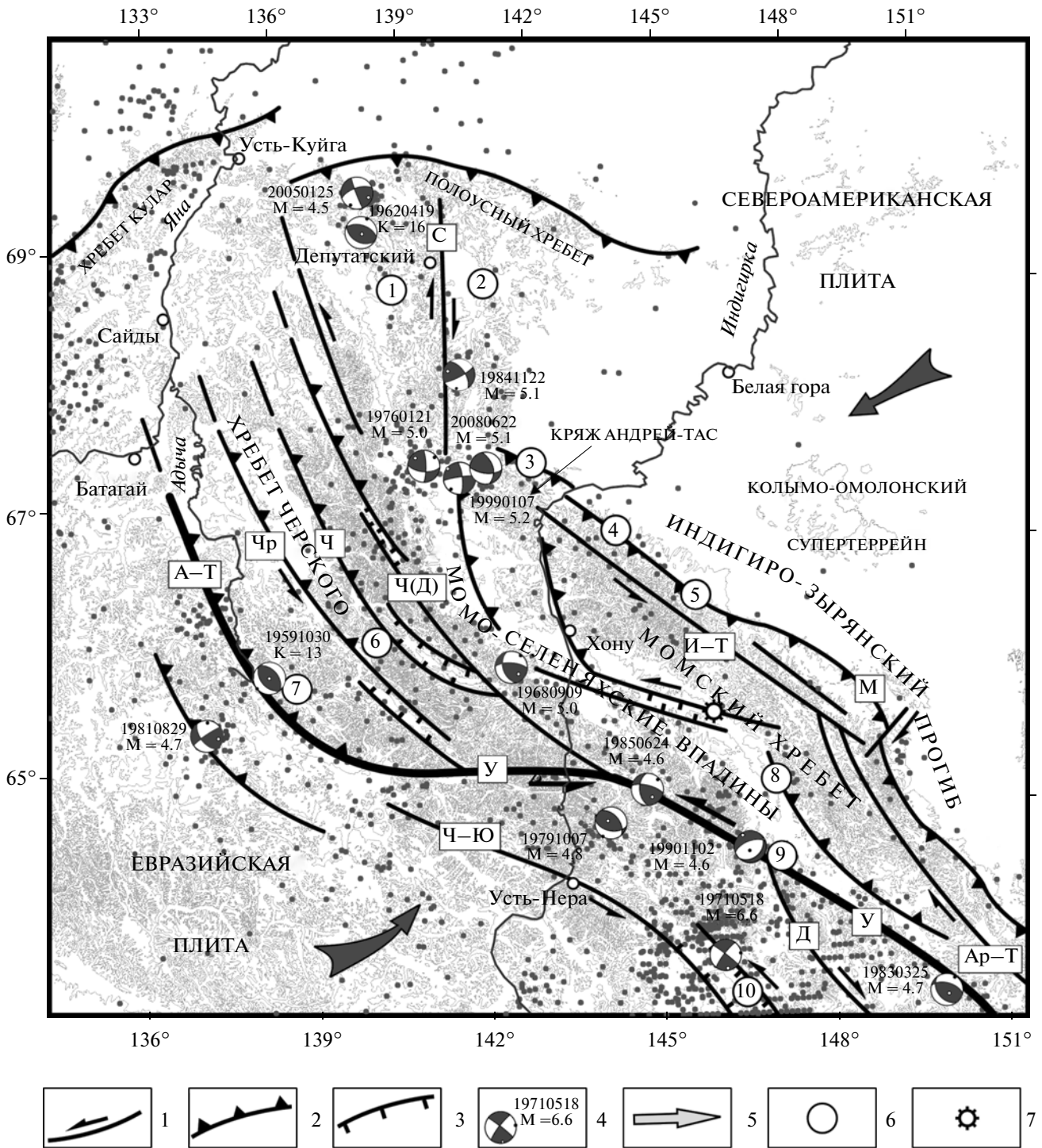


Рис. 3. Схема сейсмотектоники Яно-Индигирского сегмента сейсмотектонической зоны Черского: 1–3 – разломы: 1 – сдвиги, 2 – надвиги, 3 – сбросы; 4 – механизм очагов сильных землетрясений с указанием их даты и магнитуды, белым цветом обозначены области сжатия; 5 – направление относительного движения плит; 6 – места позднекайнозойских взбросо-сдвиговых деформаций (1 – Верхнеселенняхская; 2 – Инач; 3 – Сисиктех, Никондя; 4 – Кыллах; 5 – Мятись, Элгандя; 6 – Чаркынская; 7 – Чуккеленьнская; 8 – Нижнемомская; 9 – Улахан; 10 – Верхненерская); 7 – местоположение вулкана Балаган-Тас. Буквами обозначены названия главных разломов: А-Т – Адыча-Тарынский, Чр – Чаркынский, Ч – Чемагинский, Ч(Д) – Чибагалахский (Догдинский), С – Селенняхский; У – Улахан, Д – Дарпир, Ч-Ю – Чай-Юреинский, М – Мятисский, И-Т – Илин-Тасский, Ар-Т – Арга-Тасский. Крапом нанесены эпицентры инструментально зарегистрированных землетрясений.

ся друг от друга компактными межгорными впадинами, заложившимися в кулисах генеральных левых сдвигов горной системы хр. Черского (Догдинская, Табандинская, Верхнечаркынская и др.).

Восточнее р. Индигирки горная система не так массивна и выдержана. Наиболее значительным хребтом северной цепи является хр. Улахан-Чистай (массив Буордах), имеющий самые высокие на северо-востоке России абсолютные отметки (Пик Победы – 3147 м). Крупной неотектонической структурой на востоке названной зоны является сводовое поднятие, орографически выраженное Момским хребтом, который сложен морскими отложениями верхней юры, интенсивно дислоцированными в систему линейных северо-западных складок. Примающий к нему с востока Индигиро-Зырянский прогиб представлен меловыми и кайнозойскими отложениями большой мощности (более 3 км), которые далее к северо-востоку сменяются осадками Яно-Индигирской низменности.

Момский хребет протягивается от верховьев р. Ясачной (притока р. Колымы) вдоль северо-восточного борта системы Момо-Селенныхских впадин до коленчатого изгиба р. Индигирки, где его орографическим продолжением является хр. Андрей-Тас. Он вовлечен в интенсивное (до 2500 м) поднятие с формированием разноранговых дизъюнктивных нарушений различного кинематического типа. По своему простиранию он окаймлен рядом надвиговых и взбросовых нарушений. В центральной части хребта широко развиты разломы преимущественно сдвиговой кинематики и веерообразно расходящаяся система взбросо-надвигов.

Компактное изометричное строение прямоугольной формы имеет морфоструктура хр. Андрей-Тас. Это интенсивно развивающийся неотектонический блок с максимальной высотной отметкой 1426 м. На космоснимках различного масштаба хорошо выражено его тектоническое ограничение линиями надвигов по северной и южной границам. В центре структуры отчетливо дешифрируется сводовое поднятие, образующее кольцевую структуру радиусом 15 км, которое пересекается линеаментом протяженностью до 50 км. По морфологическому облику хр. Андрей-Тас, его структурно-тектоническому положению и ограничению по периметру разломами надвиговой природы можно предположительно рассматривать его структуру, как клиппен.

Система Момо-Селенныхских впадин, расположенная к юго-западу от Момского хребта, представлена цепочкой крупных межгорных (Верхнеселенныхской, Кыринской, Нижнемомской, Верхнемомской и др.) долин и рядом других небольших депрессий, сформированных в условиях растяжения. В структурном отношении они приурочены к

нижнемеловому прогибу и выполнены мощной толщей вулканогенно-осадочных и лагунно-континентальных отложений верхней юры и нижнего мела. Осадки смяты в пологие складки субширотного простирания, осложненные складчатостью более высоких порядков. Эволюция структур в пределах впадин позволяет проследить сочетание признаков типично рифтовых структур (наличие коровой и мантийной неоднородности, высокий тепловой поток, базальтоидный вулканизм) [Грачев, 1996], а с другой стороны парагенезисы активных разломов и механизмы очагов землетрясений свидетельствуют об обстановке сжатия земной коры [Имаев и др., 1990; 2000]. В современное время границами Момо-Селенныхских впадин являются протяженные системы взбросов и надвигов, в меньшей степени сбросов. Их кинематика устанавливалась по результатам дешифрирования разномасштабных аэрокосмических снимков, а также заверялась в отдельных районах прямыми полевыми наблюдениями. Кроме того, в пределах Яно-Индигирского сегмента зоны Черского выявлен ряд складчатых дислокаций и системы надвигов и взбросов в кайнозойских образованиях, в том числе внутри Момо-Селенныхских впадин (рис. 3, № №1–9).

Таким образом, современный морфотектонический план Яно-Индигирского сегмента зоны Черского представляет собой закономерное чередование линейно-вытянутых хребтов (сводов) и межгорных впадин, которые объединяются в линзо- или ромбовидные неотектонические структуры, отражая блоковую делимость земной коры, их структурно-тектонические ограничения и динамику тектонических процессов. Основные закономерности орографического строения территории заключаются в следующем: отдельные поднятия не группируются в цепи, а располагаются параллельно или кулисообразно; значение их в структуре зоны переменчиво и максимально в северной и северо-западной части. В центральной и юго-восточной части сегмента находятся небольшие поднятия гранитных массивов (Буордахский массив хр. Улахан-Чистай) занимающие господствующее высотное положение, которые испытывают активное воздымание на неотектоническом этапе.

АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ И КАЙНОЗОЙСКИЕ ДИСЛОКАЦИИ

В становлении современного рельефа и формировании морфоструктур сеймотектонической зоны Черского одну из основных ролей играют разломы, активизированные в кайнозое (рис. 3.). Для анализа динамики формирования сеймогенерирующих структур Яно-Индигирского сегмента наиболее показательна разломная система, трассируемая вдоль осевой части Момского хребта. Здесь выделяются Арга-Тасский и Илинь-Тасский

разломы. Первый — следится предположительно от Туманского хребта в Северном Приохотье до р. Зырянка, берущей начало с северо-восточных склонов Момского хребта. Разлом служит северо-восточным ограничением Сеймчано-Буондинской впадины. На юго-востоке он разделяет Момский и Приколымский горст-антиклинорий, а на северо-западе — Момский горст-антиклинорий и Зырянскую впадину. В магнитном поле указанный разлом выявляется по цепочке аномалий, а в поле силы тяжести ему отвечает отчетливая гравитационная ступень [Гусев, 1979].

Мезозойские эффузивные породы в зоне Арга-Тасского разлома (25 км выше устья р. Булкут, приток р. Рассоха) на протяжении 500 м интенсивно рассланцованы и по внешнему облику напоминают зеленые сланцы. В долине р. Рассоха наблюдаются милониты в виде отдельных линз. В верховьях р. Зырянка по разлому соприкасаются верхнеюрские осадочные толщи с породами среднего и верхнего палеозоя, которые интенсивно рассланцованы и катаклазированы в полосе шириной 200—300 м. Характер расположения кулис разлома, в полостях которых заложилась мини-впадины растяжения, свидетельствует о наличии сдвиговых подвижек в зоне его влияния [Гусев, 1979].

Илинь-Тасский дизъюнктив трассируется по границе сочленения Илинь-Тасского антиклинория с Индигиро-Зырянским прогибом вплоть до р. Индигирка. В зоне разлома наблюдается изменение кольцевидного рисунка магнитных аномалий и четкая гравитационная ступень. В среднем течении р. Индигирка он проявляется в виде зоны кливажирования шириной около 2 км, с падением плоскости на юго-запад под углами 60°. В верховьях рек Мятис и Бадяриха разлом прослеживается в виде сдвиговой зоны брекчирования мощностью до 300—400 метров, к которой под острым углом примыкают малоамплитудные надвиги [Гусев, 1979].

В плане, разнонаправленная система Илинь-Тасского (левый сдвиг) и Арга-Тасского (правый сдвиг) разломов сопряжена под косым углом примерно в центре Момского хребта, создавая к северо-западу и юго-востоку веерообразные зоны сжатия в виде отдельных взбросов и надвигов, представленных широким спектром складчатых деформаций в кайнозойских отложениях Индигиро-Зырянского прогиба и северо-западных впадинах Момо-Селенныхских депрессий (рис. 3, №№ 3—5, 8). Перед фронтальной областью сопряжения закономерно расположена зона растяжения, морфологически представленная субширотной долиной среднего течения р. Мома, где расположен кайнозойский вулкан Балаган-Тас, крупнейшая в мире наледь Улахан-Тарын и отмечаются многочисленные минерализованные

термальные источники подземных вод [Грачев, 1996; Имаев и др., 1990; 2001].

Крайним северо-восточным ограничением зоны хр. Черского служит Мятисский надвиг, который следится на расстояние более 700 км вдоль северо-восточного подножья Момского хребта в зоне его сочленения с Индигиро-Зырянским прогибом. Кайнозойские образования Индигиро-Зырянского прогиба на границе с кряжем Андрей-Тас дислоцированы в складки и надвиговые разрывы [Имаев и др., 1990; 2000]. Так, эоценовые отложения томторской свиты на р. Томтор образуют моноклираль, полого под углами в 15—25° погружающуюся на северо-восток (азимут падения 40—45°). Тектонические трещины, изученные в естественных обнажениях на р. Томтор показывают, что большинство из них имеет сравнительно пологие углы наклона (35—45°) за исключением редкой сети трещин, падающей на восток под углами 55—65°. Примерно такие же углы падения осадочных толщ характерны и для болчугской свиты олигоценного возраста, выходящих в устье р. Болчуг, левом притоке р. Никондя (рис. 3, № 3).

В бассейне р. Сисиктя эоценовые складки достигают крутых углов падения (75—85°) с общим направлением падения толщи на северо-восток (азимут падения 35—55°). В обнажении дополнительно фиксируются небольшие складки с горизонтальными шарнирами (азимут простирания 330°). Они усложняют региональное моноклиральное падение толщи и указывают на то, что все эти породы были как бы дожаты продолжающейся наложенной деформацией в направлении с юго-запада на северо-восток (со стороны хребта Андрей-Тас). Отложения никондинской свиты верхнемиоценового возраста также дислоцированы и нарушены разломами надвиговой кинематики. Они хорошо устанавливаются по несогласному примыканию двух различных литологических толщ, контакт которых наблюдался в среднем течении р. Никондя.

Северная часть разреза никондинской свиты представлена глинистой толщей с чередованием отдельных углистых и алевролитовых пропластов, имеющих юго-западное простирание и довольно крутые углы падения (азимут падения 250°, угол падения 35—40°). Восточная (аллохтонная) часть разреза представлена исключительно глинистой толщей и имеет другие элементы залегания (азимут падения 190°, угол 25°). Сама плоскость разлома фиксируется по многочисленным зеркалам скольжения, развитым, в основном, в аллохтонной пластине, и по резкому угловому несогласию (рис. 3, № 3).

На реках Мятис, Эльгандя и Кыллах (рис. 3, №№ 4, 5), берущих начало с Момского хребта (среднее течение р. Индигирки), отложения олигоцена, миоцена и плиоцена собраны в пакеты

крутых складок (угол падения $75\text{--}80^\circ$). С юго-запада они обрезаны надвигом, по которому нижне-меловые толщи ожогиной свиты надвинуты на третичные отложения. Складчато-надвиговые деформации кайнозойских отложений установлены также на северном фланге Яно-Индибирского сегмента (рис. 3, №№ 1, 2), а также на восточном борту системы Момо-Селенныхских впадин (рис. 3, № 8) и по трассе разлома Улахан (рис. 3, № 9).

Самым крупным структурообразующим разрывным нарушением в зоне хр. Черского является разлом Улахан (рис. 3). Он трассируется на расстоянии свыше 1500 км от р. Индибирки на юго-восток к побережью Охотского моря и отчетливо диагностируется на космоснимках различного масштаба. Его северо-западным продолжением на левобережье р. Индибирки служит Догдинский (Чемалгинский) разлом, который затухает в бассейне р. Яны. Анализируя геометрический рисунок крупных разломов, расположенных в виде отдельных кулис в Яно-Колымской системе мезозойского складчатого пояса с соотношением складчатости и поясом гранитоидных интрузий, наличием выходов крупных блоков палеозойских пород (Омулевское, Тас-Хаяхтаское поднятия), расположенных на расщепляющихся концах осевой зоны разлома Улахан (рис. 1, рис. 2), можно прийти к выводу, что разлом Улахан представляет собой крупнейшую сдвиговую систему на северо-востоке России.

Для нее характерен весь набор признаков, известный для подобных разрывных систем мира: наличие центрального сдвигового шва в форме прямолинейного разлома или системы эшелонированных нарушений; асимметричный геометрический рисунок оперяющих центральный шов складок и разрывов (ответвление от центрального шва под острыми углами систем разрывов); пояс интрузии, располагающийся несколько в стороне от шва; породы широкого стратиграфического диапазона и т.д. Горизонтальная амплитуда смещения по разлому Улахан составляет около 4–45 км, что установлено Б.И. Мальковым [1971], который изучал геологию и тектонику южной части шва на территории Омулевского поднятия, происхождение которого связано с выдавливанием клиньев блоков на поверхность в результате горизонтальных деформаций.

В зоне разлома Улахан обнаружено множество следов древних и современных сейсмодислокаций (Урультун, Тирехтях, Чибгалах и др.). Наиболее яркой из них является обвальная плотина в верховьях р. Тирехтях (левом притоке р. Момы) высотой до 50 м, образовавшаяся в результате катастрофического землетрясения с магнитудой $M \geq 7$ сотни тысяч лет назад [Гусев, 1979; Имаев и др., 1990; 2000]. Обвал перекрыл русло реки Тирехтях, в тылу

которого возникло озеро, спущенное впоследствии из-за прорыва плотины.

Характерной особенностью строения разлома Улахан является его эшелонированность, представленная серией левосдвиговых кулис, в полостях растяжения которых в современное время возникла цепочка молодых мини-впадин “pull-apart” (Верхнеэриктская, Бугчанская, Переправа, Верхнесударская и др.). При пересечении разломом Улахан верховьев рек Рассоха и Омудевка (бассейн р. Колымы) наблюдается систематическое смещение их русел влево с амплитудой до 24 км в течение временного интервала: средний плейстоцен-голоцен. Это позволило оценить среднюю скорость горизонтальных тектонических движений по разлому до 5–7 мм/год [Имаев и др., 2000; McLean, 2000].

Анализ кинематических типов активных разломов и деформаций в кайнозойских отложениях, установленных на северном фланге Яно-Индибирского сегмента показал, что на этой территории развиты дизъюнктивы различного ранга и генезиса преимущественно надвиговой, взбросо-сдвиговой динамики [Имаев и др., 1990; 2000; Козьмин и др., 2001].

СЕЙСМИЧНОСТЬ

Одним из основных факторов, свидетельствующих об активности протекающих здесь сейсмодислокационных процессов, являются проявления сейсмичности. Сейсмогенные зоны эпицентров землетрясений (рис. 4) приурочены к трассам активных разломов (Улахан, Чай-Юреинский, Адыча-Тарынский, Чибгалахский, Селенныхский и др.). Здесь преобладают многочисленные мелкофокусные (глубина гипоцентров до 30 км) слабые землетрясения с $M \leq 2$, хотя отмечен и ряд крупных сейсмических катастроф (более 30) с $M \geq 5$ и интенсивностью в эпицентре до 7–9 баллов. Среди них наиболее активен разлом Улахан, вдоль которого локализован шлейф землетрясений слабой и средней интенсивности ($M = 2\text{--}5$). Значительная сейсмическая активность присуща Чай-Юреинскому разлому, в зоне влияния которого отмечено 9-балльное Артыкское землетрясение 1971 г. с $M = 6.6\text{--}6.8$ и Адыча-Тарынский дизъюнктив, где также зафиксирован 8-балльный Адычанский толчок 1951 г. с $M = 6.4$. Небольшой уровень сейсмической активности отмечен в пределах Момского хребта и ограничивающих его разломах [Козьмин, 1984; Козьмин и др., 2001].

Совместный анализ особенностей активной тектоники (рис. 3) и проявлений сейсмичности (рис. 4) выявил определенную закономерность пространственного распределения очагов землетрясений и структурную организацию главных сейсмогенных зон в Яно-Индибирском сегменте.

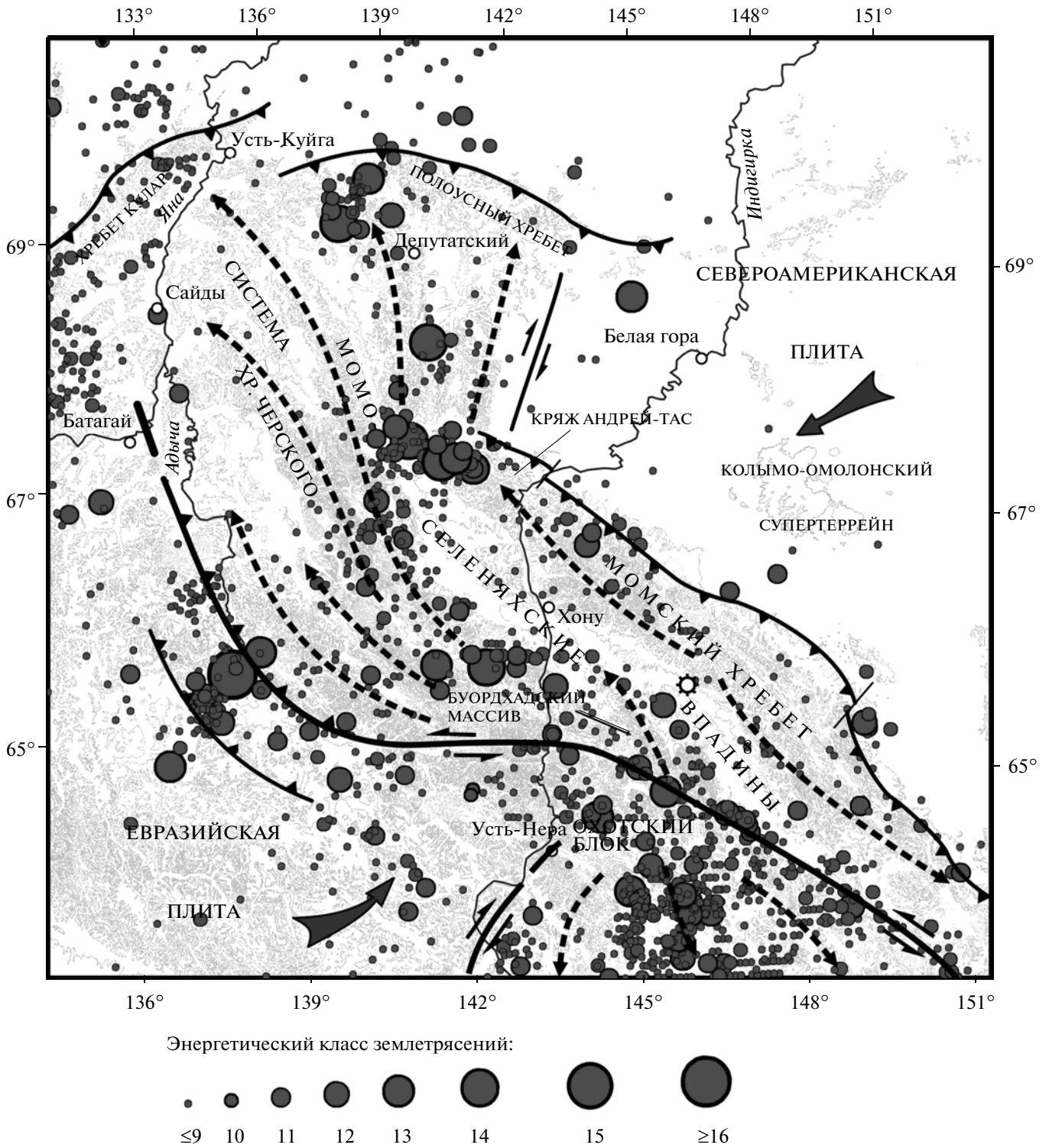


Рис. 4. Схема эпицентров землетрясений Яно-Индигирского сегмента сейсмотектонической зоны Черского Арктико-Азиатского сейсмического пояса. Составлена по материалам ГФ СО РАН. Пунктирными стрелками обозначены направления перемещения блоков.

Так, сгущение эпицентров, группирующееся вдоль линии разлома Улахан, продолжается на левобережье р. Индигирки по трассе Чибгалахского разрывного нарушения, но затем вблизи 140°–141°

восточной долготы круто меняет свое прежнее простираение с северо-западного на долготное. При этом, полоса эпицентров землетрясений пересекает почти вкрест простираения систему Мо-

Таблица 1. Крупные сейсмические события северо-западного фланга зоны хр. Черского с $M \geq 4.0$

Дата Возникновения, год. мес. число	Время в очаге по Гринвичу, час. мин. сек.	Северная широта, град.	Восточная долгота, град.	M
1962.04.19	23. 16. 05	69.5	138.5	6.2
1968.09.09	02. 20. 59.2	66.17	142.13	5.0
1976.01.21	06. 01. 48.5	67.73	140.03	5.0
1984.11.22	13. 52. 57.2	68.52	140.81	5.6
1996.09.18	09. 51. 46.8	68.01	139.82	4.7
1998.01.15	03. 33. 08.5	67.71	139.39	4.8
1999.01.07	18. 13. 38.2	67.76	141.36	5.4
2005.01.25	22. 21. 56.1	69.88	138.89	4.7
2007.12.02	20. 18. 49.6	67.74	139.33	4.0
2008.06.22	23. 56. 32.0	67.73	141.25	6.1
2008.06.23	01. 02. 44.1	67.81	141.16	4.3

Примечание. M – магнитуда землетрясения по шкале Рихтера.

мо-Селенняхской впадины и вдоль западного склона кряжа Андрей-Тас следует к Полоусному хребту, тяготея к Селенняхскому разлому. Следует особо отметить повышенную активность этого участка территории, где только в течение 1962–2008 гг. произошло 11 сильных землетрясений с $M = 5.0 - 6.2$ (табл. 1).

Характеристика полей тектонических напряжений основывалась на параметрах фокальных механизмов сильных землетрясений, произошедших в 1962–2008 гг (рис. 3). При этом, представленные в круговых диаграммах решения механизмов были построены как по данным направления первых смещений в продольных сейсмических волнах [Мишарина, 1967; Козьмин, 1984], так и с использованием метода момента тензора центроида по сведениям из международных каталогов [Fujita et al., 2009].

Детальное рассмотрение ориентации плоскостей сместителей и главных тектонических напряжений в очагах землетрясений свидетельствует о главенствующей в сеймотектонической зоне Черского обстановки сжатия, где сжимающие напряжения действуют в направлении северо-восток-юго-запад по азимуту $30-80^\circ$. При этом выявлено, что в очагах землетрясений, зафиксированных в междуречье Индигирки и Колымы (Колымо-Индигирский сегмент) преобладают подвижки типа

левого сдвига со взбросом, что совпадает с современными левобокowymi смещениями гидросети и геологических тел в областях влияния разломов Улахан и Чай-Юреинского. На левобережье р. Индигирки (Яно-Индигирский сегмент) по данным фокальным механизмов землетрясений обнаруживается, что в субдолготной ветви сейсмичности, пересекающей систему Моно-Селенняхских впадин и тяготеющей к Селенняхскому разлому, левые сдвиги северо-западного простирания сменяются правыми субдолготной и северо-восточной ориентации.

Если проанализировать тип перемещений в очагах подземных толчков между кряжем Андрей-Тас и хр. Полоусным, то можно заметить, что все они также произошли в условиях северо-восточного сжатия (табл. 2). Одна из плоскостей разрыва в их очагах – субвертикальна или круто наклонена к северо-востоку и имеет, как правило, субдолготное простирание, другая – близширотная. Для всех событий характерны смещения в очаге типа взброса, правого сдвига или их сочетаний.

Наиболее типичен для этого района механизм очага Андрей-Тасского землетрясения 2008 г., определенный по методу момента тензора центроида [<http://neic.usgs.gov/neis/sopar>]. На его диаграмме видно, что одна из плоскостей разрыва ориентирована субдолготно по азимуту 345° с па-

Таблица 2. Параметры фокальных механизмов сильных землетрясений северо-западного фланга зоны хр. Черского

Дата, год, месяц, число	Координаты эпицентра		<i>M</i>	Плоскость разрыва-1		Плоскость разрыва-2		Подвижка в очаге	Источник
	сев. широта, градус	вост. долгота, градус		<i>Az</i> °	<i>e</i> °	<i>Az</i> °	<i>e</i> °		
1962.04.19	69.5	138.5	6.2	120	40NE	287	51SW	взброс	[Козьмин, 1984]
1968.09.09	66.2	142.1	5.0	274	68N	162	47W	взброс	[Имаев и др., 1990; 2000].
1976.01.21	67.7	140.2	5.0	95	60W	359	80S	взброс с правым сдвигом	[Имаев и др., 2000].
1984.11.22	68.5	140.8	5.1	62	79SE	326	58NE	то же	[Мишарина, 1967; Козьмин, 1984]
1999.01.07	67.6	140.9	5.2	304	10N	98	81E	взброс	[Мишарина, 1967; Козьмин, 1984]
2005.01.25.	69.8	138.3	4.5	251	64NW	159	87SW	взброс с правым сдвигом	[Козьмин, 1984; Мишарина, 1967]
2008.06.22	67.7	141.2	6.1	345	57NE	99	58SW	То же	[Козьмин, 1984]

Примечание. *M* – магнитуда землетрясения, *Az* – азимут простирации плоскости разрыва в очаге, *e* – угол ее падения.

дением на северо-восток под углом 57°, другая – имеет близширотное простираие (азимут 99°) и падает на юг под углом в 58°. Напряжения сжатия в очаге землетрясения были ориентированы в северо-восточном направлении (азимут 224°) и действовали близгоризонтально (угол с горизонтом 2°), а растягивающие усилия были направлены на северо-запад (азимут 312°) под углом в 50° к горизонту. Подвижка в очаге соответствовала взбросу с небольшой компонентой правого сдвига по субдолготной плоскости. Параметры субдолготной плоскости сместителя для большинства решений фокальных механизмов близка к простираию Селеняхского разлома.

Рассмотрение пространственного расположения главных эпицентральных зон Яно-Индибирского сегмента (рис. 4) и данных решения фокальных механизмов в очагах сильных землетрясений (табл. 2) выявило следующую закономерность: эпицентры землетрясений группируются в линейные зоны, структурно приуроченные к граничным региональным разломам сдвиговой кинематики. Крупные сейсмические события тяготеют к фронтальным структурам блоков и не затрагивают собой их внутреннее пространство.

ДИНАМИКА СЕЙСМОГЕНЕРИРУЮЩИХ СТРУКТУР

Таким образом, в пределах Яно-Индибирского сегмента сейсмотектонической зоны Черского в условиях транспрессии (сжатия со сдвигом) имеет место определенная кинематическая обстановка, инициированная взаимодействием фронтальных структур зон контактного сопряжения Евразийской и Северо-Американской литосферных плит. Подобные условия возможны, если при сближении Северо-Американской и Евразийской литосферных плит роль активного индентора выполнял Колымо-Омолонский блок (супертеррейн), находящийся во фронтальной части Северо-Американской плиты. Результат такого воздействия проявился в формировании перед фронтальной частью индентора расходящихся северо-западных (левых) и юго-восточных (правых) сдвигов, формирующих на своих окончаниях сейсмогенерирующие зоны взбросов и надвигов, обладающих максимальным сейсмическим потенциалом.

В плане, структурным ограничением Яно-Индибирского сегмента является разноправленная дизъюнктивная зона Чаркынского (левый сдвиг) и

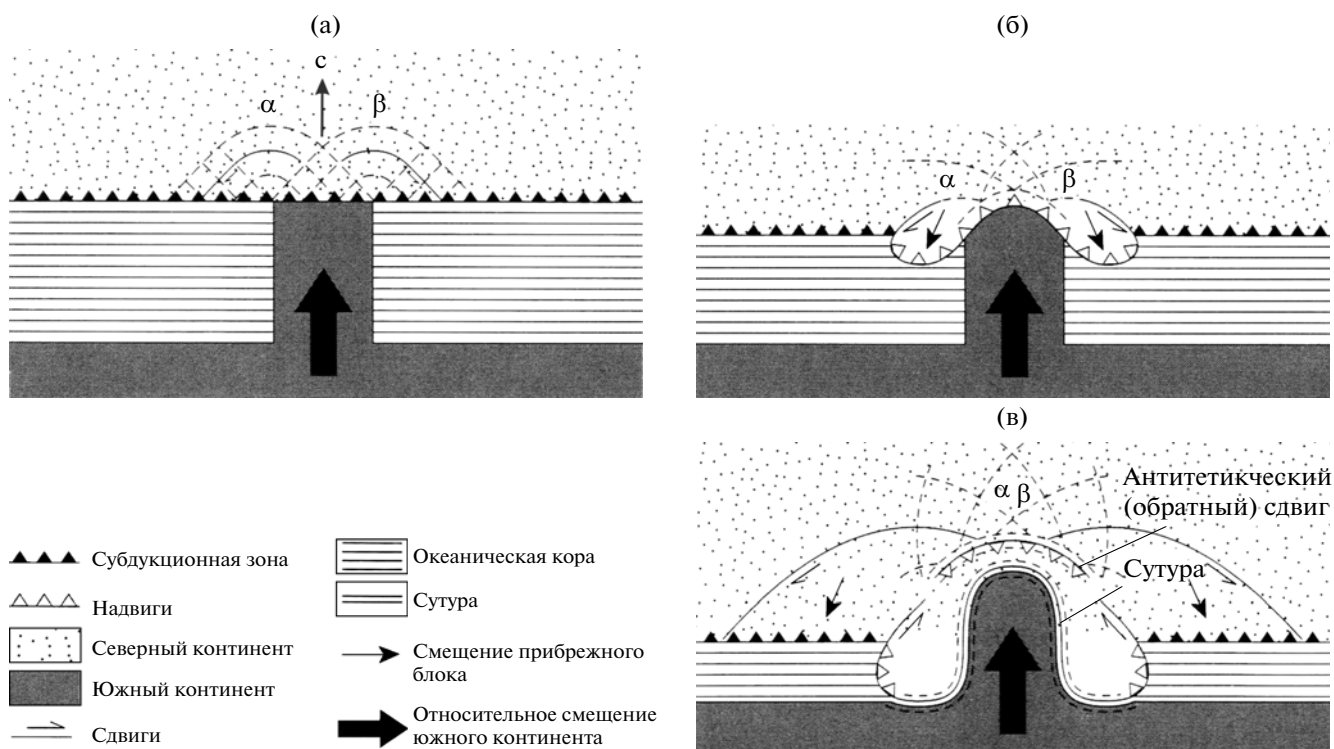


Рис. 5. Схематическая модель пластической деформации Альп (по [Moore, Twiss, 1995]): (а) – конфигурация при коллизии; (б) – выдавливание (экструзия) блоков земной коры под действием индентора вдоль сдвиговых линий; (в) – возникновение сутур из континентальных фрагментов и развитие второй фазы экструзии.

Селенняхского (правый сдвиг) б которая сопряжена под косым углом в центре субширотной ветви системы разлома Улахан (рис. 3). Данная динамическая обстановка способствовала созданию к северу и северо-западу веерообразных зон сжатия (хребты Полоусный и Кулар) в виде системы взбросов и надвигов, которые также представлены широким спектром складчатых деформаций в кайнозойских отложениях.

Следует отметить, что закономерное развитие разломов противоположной кинематики расходящихся в разные стороны от индентора было детально изучено при рассмотрении структур, возникающих при деформации горизонтального (латерального) выжимания [Копп, 1997; Moore and Twiss, 1995; Трифонов, 1999; 2002; Леонов, 2009] (рис. 5). Как отмечал в своих работах М.Л. Копп [1997], на участках коллизии литосферных плит, подвергающихся горизонтальному сжатию, материал может выжиматься по латерали вдоль орогенного пояса в места ослабленного сжатия. В результате сгуживания выжатых масс коры формируются раздувы орогенных поясов и поперечные складчатые зоны.

Подобная динамическая ситуация наблюдается в северной и южной части Яно-Индибирского сег-

мента зоны Черского (рис. 3). Недостаток пространства в районе среднего течения р. Индибирка подчеркивается сужением разрывных структур, а к северу и югу от шейки, разломы расходятся с заметным расширением деформируемой области. Отдельные пластины выдвинуты на север и северо-запад в направлении хребта Полусный и кряжа Кулар (рис. 4). Их взаимоотношение со структурами субширотной ориентации хребта Полоусного подчеркивается разнонаправленным типом смещения по ограничениям блоков (правые и левые сдвиги) и выявляет тенденцию выдавливания материала.

На рис. 6 отчетливо дешифрируется первоначальное выжимание гранитоидов (Буордахский массив) и дальнейшее перемещение их в северном и северо-западном направлении. Не исключено, что утонение земной коры, установленное под всей системой хребтов Черского [Суворов, Корнилова, 1986; Маккей, 2005], западнее местоположения системы Момо-Селенняхских впадин, своим происхождением обязано процессам растяжения, происходящим в результате вертикального выжимания вещества и дальнейшего растаскивания отдельных пластин (блоков) в противоположном направлении друг от друга.

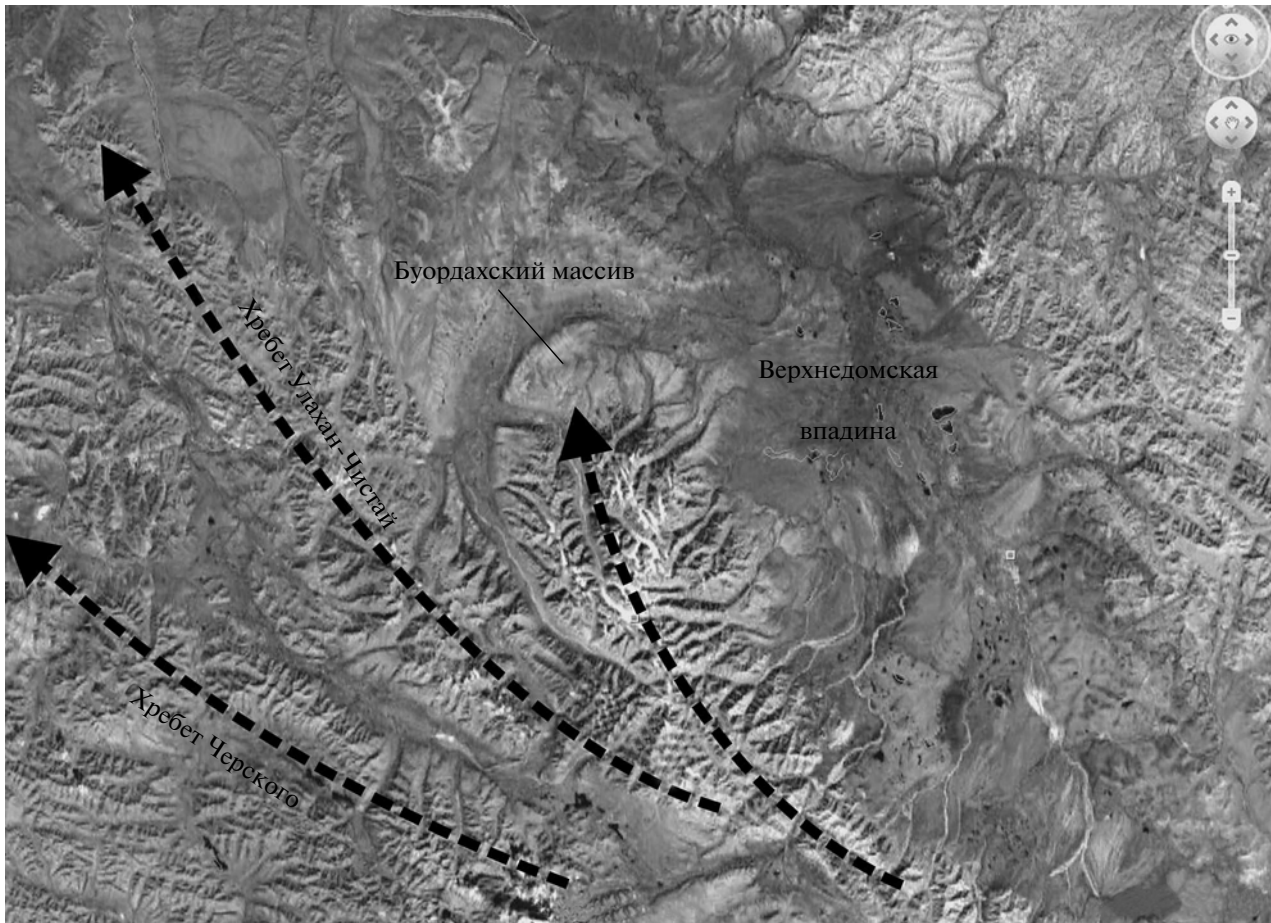


Рис. 6. Структурно-кинематический план массива Бурдах. Пунктирными стрелками обозначены направления перемещения блоков.

ВЫВОДЫ

1. Кинематический план системы активных разломов Яно-Индигирского сегмента сейсмотектонической зоны Черского (рис. 3), подтверждает унаследованность позднекайнозойских деформаций от динамики мезозойской структуры (рис. 2). В условиях транспрессии (сжатие со сдвигом) здесь имеет место определенная кинематическая обстановка, обусловленная сопряжением граничных разнонаправленных сдвигов различного иерархического ряда.

2. Крупные террейны (рис. 1) различной геодинамической природы (Ролоусно-Дебинский, Омурлевский, Нагоджинский и др.) подвергаются горизонтальному сжатию, выжимаясь по латерали вдоль орогенного пояса по системе сопряженных разнонаправленных сдвигов различного иерархического ряда, формируя во фронтальных частях зоны Черского систему взбросов и надвигов, обладающую максимальным сейсмическим потенциалом.

3. Структурная организация главных сейсмогенерирующих зон и динамика очагов сильных зем-

летрясений (рис. 4) являются индикаторами типов сейсмотектонической деструкции земной коры сегмента. Эпицентры землетрясений группируются в линейные зоны, приуроченные к граничным региональным разломам. Крупные сейсмические события тяготеют к фронтальным структурам отдельных блоков (Чемалгинский, Тас-Хаяхтахский, Селенняхский и др.), ограниченных сейсмоактивными разломами и не затрагивают собой их внутреннее пространство, подчиняясь направлению горизонтального выдавливания.

4. Полученные результаты детальных сейсмотектонических исследований и структурно-динамическая модель главных сейсмогенерирующих зон Яно-Индигирского сегмента могут являться базовой основой анализа геодинамических режимов, а также сейсmodинамических построений для отдельных сегментов сейсмических поясов северо-востока Азии, что позволит провести определение степени сейсмической опасности территорий на новом качественном уровне.

Данная работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (Гранты № 10-05-00573а и № 09-05-00727а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Грачев А.Ф.* Основные проблемы новейшей тектоники и геодинамики Северной Евразии // *Физика Земли*. 1996. № 12. С. 5–36.
- Гусев Г.С.* Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезозойд М.: Наука. 1979. 207 с.
- Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А.* Введение в геодинамику. М.: Недра. 1979. 311 с.
- Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.* Активные разломы и сейсмоструктура Северо-Восточной Якутии. Якутск: Якутский научный центр. 1990. 138 с.
- Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.* Сейсмоструктура Якутии. М.: ГЕОС. 2000. 226 с.
- Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М.* Особенности современной геодинамики северо-востока Азии и Аляски. “Фундаментальные проблемы геотектоники”. Материалы XL Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2007. С. 274–278.
- Имаев В.С., Имаева Л.П., Маккей К.Г. и др.* Геодинамика отдельных сегментов литосферных плит на северо-востоке Азии // *Геофизические исследования*. 2009. Т. 10. № 1. С. 5–17.
- Имаев Л.П., Козьмин Б.М., Имаев В.С.* Сейсмоструктура северо-восточного сегмента зоны Черского // *Отечественная геология*. 2009. № 5. С. 56–62.
- Козьмин Б.М.* Сейсмические пояса Якутии и механизмы очагов их землетрясений. М.: Наука. 1984. 125 с.
- Козьмин Б.М., Имаев В.С., Имаева Л.П.* Сейсмичность и современная геодинамика. Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия). М.: Наука. 2001. С. 33–67.
- Копп М.Л.* Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе. М.: Научный мир. 1997. 313 с.
- Леонов М.Г., Колодяжный С.Ю., Зыков Д.С.* Внутреплитные структурно-кинематические парагенезы – индикаторы латеральных потоков в литосфере подвижных поясов и платформ. Геодинамическая эволюция литосферы центрально-азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Т. 1. Иркутск. 2009. С. 170–173.
- Мальков Б.И.* Схема развития юго-восточной части Яно-Колымской геосинклинальной системы. Мезозойский тектогенез. Материалы 7-й сессии Научного Совета по тектонике Сибири и Дальнего Востока. Магадан. 1971. С. 35–41.
- Мишарина Л.А.* Напряжения в земной коре в рифтовых зонах. М.: Наука. 1967. 136 с.
- Парфенов Л.М.* Континентальные окраины и островные дуги мезозойд Северо-Востока Азии. Новосибирск: Наука. 1984. 191 с.
- Парфенов Л.М. и др.* Коллаж террейнов Верхояно-Колымской орогенной области. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК “Наука”. 2001. С. 199–254.
- Прокопьев А.В., Дейкуненко А.В.* Деформационные структуры складчато-надвиговых поясов. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК “Наука”. 2001. С. 156–198.
- Рундквист Д.В., Гатинский Ю.Г., Буш В.А., Кособоков В.Г.* Территория России в современной структуре Евразии // *Вычислительная сейсмология*. 2001. Вып. 32. С. 266–277.
- Суворов В.Д., Корнилова З.А.* Мощность земной коры на юго-востоке Верхояно-Колымской складчатой области // *Тихоокеан. геология*. 1986. № 4. С. 32–35.
- Трифонов В.Г.* Неотектоника Евразии. М.: Научный мир. 1999. 252 с.
- Трифонов В.Г. и др.* Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. Труды ГИН РАН. Вып. 541. М.: ГЕОС. 2002. 225 с.
- Уломов В.И.* Об основных положениях и тектонических рекомендациях по созданию новой карты сейсмического районирования территории Российской Федерации. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 2–3. М.: ОИФЗ РАН. 1995. С. 9–26.
- Уломов В.И., Шумилина Л.С.* Комплект новых карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации // *Сейсмостойкое строительство*. № 4. 1998. С. 30–34.
- Уломов В.И., Никитин С.Н.* Технический регламент проведения работ по общему сейсмическому районированию территории Российской Федерации. Свод правил ОСР // *Инженерные изыскания*. 2010. № 6. С. 62–87.
- Chapman M.B., Solomon S.C.* North American-Eurasian plate boundary in Northeast Asia // *J. Geophys. Res.* 1976. V. 81. № 5. P. 921–930.
- Fujita K., Kozmin B.M., Mackey K.G. et al.* Seismotectonics of the Chersky seismic belt, eastern Russia (Yakutia) and Magadan district, Russia. Geology, geophysics and tectonic of Northeastern Russia: a tribute to Leonid Parfenov. 2009. Stephan Muller Spec. Publ. 2009. Ser. 4. P. 117–145.
- Mackey K., Fujita K., Hartse H.E. et al.* Seismicity of Eastern Russia 1960–2007: map, 2007. LAUR-04-1381.
- McLean M. S., Fujita K., Mackey K. G., Kleber E., Koz'min B. M. and Imaev V.S.* The Ulakhan fault system, northeast Russia (abstract). Transactions of the American Geophysical Union (Eos). 2000. V. 81(48), Supplement. P. F1164.
- Moores E.M. and Twiss R.J.* Tectonics/ W.H. Freeman and Company. New York. 1995. 415 p.
- Shebalin N.V., Ulomov V.I., Tatevossian R.E., Trifonov V.G., Loffe A.I., Kozhurin A.I.* Unified Seismogeological Taxonomy of the Northern Eurasia. IUGG-Abstracts. SB21C-14. Boulder. U.S.A. 1995.