

THE CENOZOIC CRUSTAL STRESS STATE OF MONGOLIA ACCORDING TO GEOLOGICAL AND STRUCTURAL DATA (REVIEW)

V.A. Sankov  , A.V. Parfeevets 

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 128 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

ABSTRACT. This article gives a chronological review of the main published research results concerning the Cenozoic crustal stress-strain state in Mongolia and adjacent territories. The studies commenced in the southern Baikal rift zone in the 1970s and were extended further southwards to cover mobile regions neighbouring the Siberian platform. Geological, structural and morphostructural data were collected and analysed to define the crustal stress types and spatial characteristics.

The authors have consolidated their reconstructions of the crustal stress-strain state of Mongolia, which were based on tectonic fracturing data and displacements along fractures in fault zones active in the Cenozoic. We consolidated a database of reconstructed stress tensors, which now contains more than 750+ solutions. The Late Cenozoic stress field was mapped. The map shows domains differing in types of the paleostress state of the crust. The reconstructions were compared to our calculations of the present-day crustal stress state, which were based on earthquake focal mechanisms, and to calculations by other authors. At the Late Cenozoic and current stages, the maximum horizontal compression axis (S_{Hmax}) has varying orientations, from submeridional (Western Mongolia) to NE and ENE (Eastern Mongolia). The role of compression increases from the northern domains, where the reconstructions show shear and transtension, to the southern domains with prevailing transpression and compression. Regular changes occur in the stress state and rupture parageneses along the largest latitudinal faults, North Khangai and Dolinoozersky; such changes are related to left-lateral strike-slip faulting.

We analysed the sequence of the occurrence of stress fields differing in types and spatial characteristics, and revealed the main regularities in the evolution of the crustal stress-strain state in time. In the Cenozoic history of crust deformation in Mongolia, we can distinguish several episodes that differ in the dominant impacts of various tectonic force sources or combinations of such impacts. At the beginning of the Cenozoic, tectonic structures developed mainly under the influence of the interaction of East Asia and the Pacific Plate, which was manifested in the southeastern domains of the study area. The long-term SE-trending asthenospheric flow caused crustal stretching, which initiated the formation of tectonic structures comprising the Baikal rift system. Starting from the Pliocene, crustal stretching took place in combination with NNE compression caused by the India–Eurasia convergence. As a result, shearing occurred along the large faults. At this background, the Khangai and Khentei uplifts (including crust extension zones at their crests) are large structures that developed due to the dynamic effect of local mantle anomalies.

KEY WORDS: Cenozoic activation; faulting; Mongolia; southern East Siberia; reconstructed paleostress state of the crust; structural method

FUNDING: The study was financially supported by RFBR (project 19-15-50219).

RESEARCH ARTICLE

Received: September 14, 2020

Revised: September 18, 2020

Accepted: October 14, 2020

Correspondence: Vladimir A. Sankov, sankov@crust.irk.ru

FOR CITATION: Sankov V.A., Parfeevets A.V., 2020. The Cenozoic crustal stress state of Mongolia according to geological and structural data (review). *Geodynamics & Tectonophysics* 11 (4), 722–742. doi:10.5800/GT-2020-11-4-0503

КАЙНОЗОЙСКОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ МОНГОЛИИ ПО ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫМ ДАННЫМ (ОБЗОР)

В.А. Саньков, А.В. Парфеевец

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

АННОТАЦИЯ. Приведены основные опубликованные результаты исследований кайнозойского напряженно-деформированного состояния земной коры Монголии и сопредельных территорий юга Сибири в хронологической последовательности. Эти исследования, начатые в 70-х годах XX века в южной части Байкальской рифтовой системы, были распространены на подвижные области, примыкающие с юга к Сибирской платформе. Выводы о типе напряженного состояния земной коры и его пространственных характеристиках базировались как на геолого-структурных, так и на морфоструктурных данных.

Обобщены авторские данные реконструкций напряженно-деформированного состояния земной коры территории Монголии по тектонической трещиноватости и смещениям по разрывам в зонах активных в кайнозойское разломов. Созданная база данных реконструированных стресс-тензоров насчитывает более 750 решений. Составлена карта позднекайнозойского поля напряжений, и проведено районирование территории по типу палеонапряженного состояния земной коры. Реконструкции сопоставлены с результатами наших расчетов современного напряженного состояния земной коры с использованием данных о механизмах очагов землетрясений, а также с результатами расчетов других авторов. В целом ориентация осей максимального горизонтального сжатия S_{Hmax} позднекайнозойского и современного этапов варьируется от субмеридиональной, преобладающей на западе Монголии, до северо-восточной и восточно-северо-восточной, преобладающей на востоке. Роль сжатия повышается с севера территории, где реконструированы условия сдвига и трансенсии, на юг, где преобладают условия транспрессии и сжатия. Вдоль зон крупнейших широтных разломов, Северо-Хангайского и Долиноозерского, наблюдается закономерное изменение напряженного состояния и парагенезов разрывных структур, что связано с левосторонней сдвиговой кинематикой дизъюнктивов.

Анализ последовательности проявления полей напряжений по типу и пространственным характеристикам позволил установить основные закономерности эволюции напряженно-деформированного состояния земной коры территории исследований во времени. Кайнозойская история деформирования земной коры Монголии включает эпизоды, в рамках которых преобладали воздействия от различных источников тектонических сил или сочетания этих воздействий. В начале кайнозоя основным фактором формирования тектонических структур являлось взаимодействие восточной части Азии и Тихоокеанской плиты, проявившееся в юго-восточной части территории. Растяжение земной коры, обусловленное длительно существующим процессом течения астеносферы в юго-восточном направлении, инициировало формирование структур Байкальской рифтовой системы, а с плиоцена оно взаимодействует с процессом северо-северо-восточного сжатия, вызванного конвергенцией Индостана и Евразии. Результатом этого взаимодействия являются сдвиговые движения по крупным разломам. Формирование на этом фоне крупных поднятий Хангая и Хэнтэя и растяжение в их присводовых частях обусловлены динамическим воздействием мантийных аномалий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кайнозойская активизация; разломообразование; Монголия; юг Восточной Сибири; реконструкция палеонапряженного состояния земной коры; структурный метод

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 19-15-50219).

1. ВВЕДЕНИЕ

Отдельные районы территории Монголии характеризуются различным стилем неотектонического развития в кайнозойе. Наиболее ярко это выражено в ее разделении на западную и восточную части, которые характеризуются преобладающим соответственно горным и равнинным рельефом. В западной части территории выделяется линейное поднятие Монгольского Алтая северо-западного простирания, переходящее в структуры Русского Алтая на севере и в структуры широтного Гобийского Алтая на юге (рис. 1). Центральную и часть Западной Монголии занимает массивное Хангайское сводовое поднятие. С севера к нему примыкает

также массивное Прихубсугульское поднятие, разделенное меридиональными рифтовыми впадинами, представляющими собой крайнее юго-западное звено Байкальской рифтовой системы (БРС). Широтное Тункинское звено БРС соединяет рифтовые впадины Северной Монголии с центральной частью рифтовой системы, представленной Байкальской впадиной и сопровождающими ее поднятиями. Высокоамплитудные поднятия в Западной Монголии разделены межгорными впадинами-рампами и крупными котловинами (Долиноозерская, Убсунуурская и другие впадины, Котловина Больших Озер). В восточной части Монголии наиболее крупным горным сооружением является

Хэнтэйское сводовое поднятие, прослеживающееся к северо-востоку на территорию Забайкалья.

В настоящее время существует две точки зрения на начало и последовательность неотектонической активизации тектонических структур территории исследований. По мнению Е.В. Девяткина [Devyatkin, 1981], неотектонические движения в Западной Монголии стартовали в олигоцене – миоцене. В работах [Nikolaeva, Shuvalov, 1969; Yanshin, 1975] этот этап датировался олигоценом. Согласно представлениям К.Г. Леви [Levi, 2007], базирующимся на изучении возраста осадков в предгорных впадинах, различные структуры на территории Монголии и южной части Восточной Сибири активизировались полихронно с тенденцией омоложения, грубо, с запада на восток. Так, для Русского и Монгольского Алтая начало активизации датировано поздним мелом – палеогеном, для Хангая, Хэнтэя, Тувинского нагорья, Прихубсугуля и Байкальской рифтовой системы – эоценом – олигоценом, для Восточного Саяна, Орхон-Селенгинской депрессии и Забайкалья – олигоценом – ранним миоценом. Наконец, в наиболее

поздние временные интервалы – в миоцене и в позднем миоцене – плиоцене – слабо активизировались неотектонические движения в Восточной и Южной Монголии, включая восточную оконечность Гобийского Алтая [Levi, 2007]. Амплитуды вертикальных неотектонических движений в Восточной Монголии имеют пониженные значения, что позволяет отнести ее к территориям с сублатформенным режимом развития в кайнозое.

Существенное ускорение вертикальных тектонических движений на территории Монголии и юга Сибири отмечается в позднем плиоцене – плейстоцене, что продемонстрировали результаты исследований осадочных отложений впадин [Florensov, 1974], а также данные трекового датирования по апатитам [De Grave et al., 2007; Jolivet et al., 2007, 2009].

Сформированная и активизированная на неотектоническом этапе сеть разломов территории в разной степени проявлена в зависимости от скорости тектонических деформаций. Неотектонические разломы наследуют геологическую структуру предшествующих

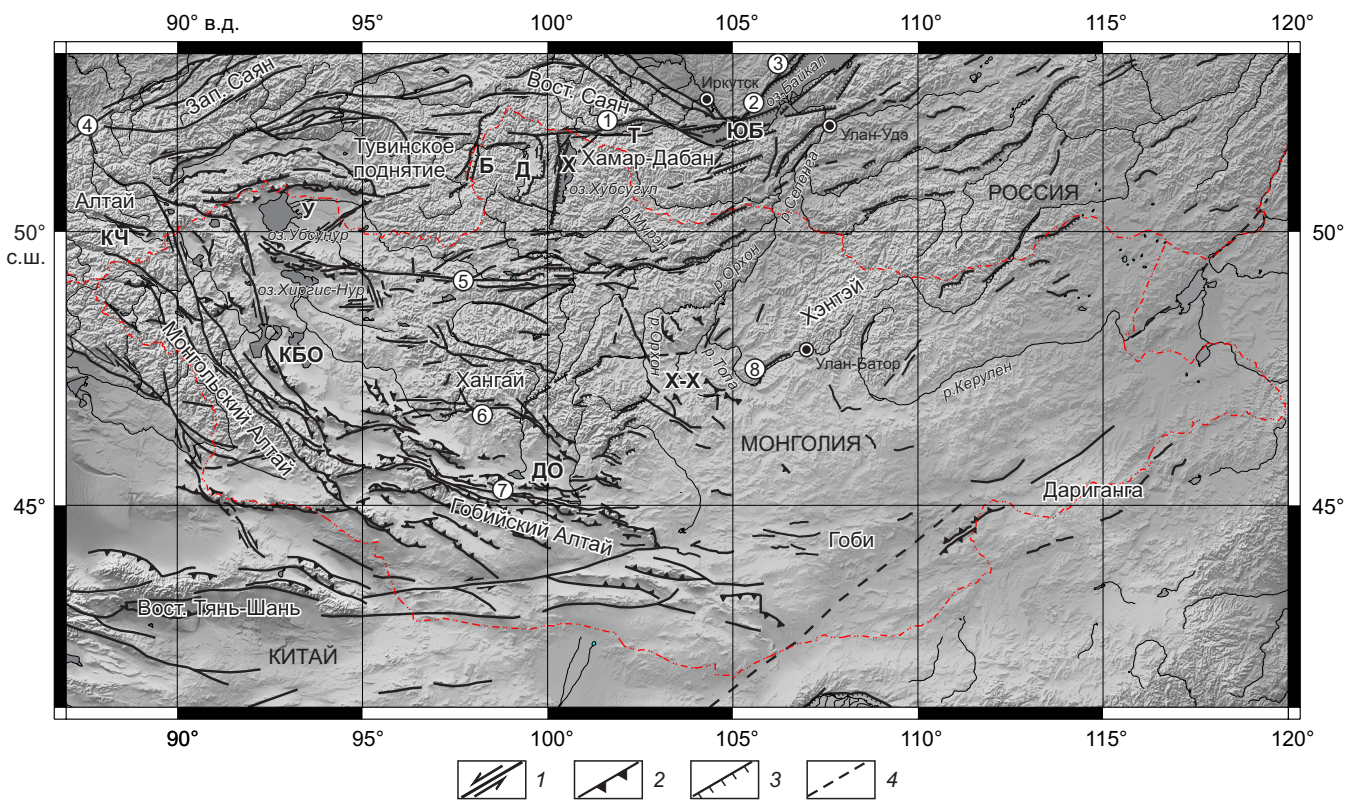


Рис. 1. Карта разломов кайнозойской активизации Монголии и окружающих территорий. 1–4 – разломы кайнозойской активизации: 1 – сдвиги, 2 – взбросы, 3 – сбросы, 4 – предполагаемые. Обозначены основные поднятия, буквами показаны кайнозойские впадины и понижения: Б – Бусийнгольская, Д – Дархатская, Х – Хубсугульская, Т – Тункинская, ЮБ – Южно-Байкальская, КЧ – Курайско-Чуйская, У – Убсунурская, КБО – Котловина Больших Озер, ДО – Долина Озер, X-X – Хангай-Хэнтэйская тектоническая седловина. Цифрами в кружочках обозначены разломы: 1 – Тункинский, 2 – Обручевский, 3 – Приморский, 4 – Телецкий, 5 – Северо-Хангайский, 6 – Южно-Хангайский, 7 – Долиноозерский, 8 – Хустайский.

Fig. 1. Map of Mongolia and adjacent territories, showing faults active in the Cenozoic. 1–4 – faults active in the Cenozoic: 1 – strike-slip, 2 – reverse, 3 – normal, 4 – assumed. The names of the main uplifts are shown on the map. The Cenozoic troughs and depressions are marked with letters: Б – Busiyngol, Д – Darkhat, Х – Khubsugul, Т – Tunka, ЮБ – South Baikal, КЧ – Kurai–Chuya, У – Uvs Nuur, КБО – Big Lakes depression, ДО – Lakes valley, X-X – Khangai–Khentei tectonic saddle. Faults (numbers in circles): 1 – Tunka, 2 – Obruchev, 3 – Primorsky, 4 – Teletsky, 5 – North Khangai, 6 – South Khangai, 7 – Dolinoozersky (Lakes valley), 8 – Khustai.

геологических этапов, представляющую собой коллаж разновозрастных террейнов [Badarch et al., 2002]. Среди работ, посвященных активным разломам Монголии, их кинематике и скоростям смещений, необходимо отметить публикации [Solonenko, Florensov, 1985; Trifonov, Makarov, 1988; Bayasgalan et al., 1999; Cunningham et al., 1996; Cunningham, 2001, 2013; Ritz et al., 2003; Walker et al., 2007, 2008; Smekalin et al., 2013; Rizza et al., 2015; Levi, 2007; и др.]. Из скомпилированной карты (рис. 1) следует, что кинематика крупных разломных зон связана с их простиранием. Так, система северо-западных разломов поднятия Монгольского Алтая относится к правосторонним сдвигам и взбросо-сдвигам, а субширотные разрывные структуры Гобийского Алтая – к левосторонним взбросо-сдвигам (рис. 1). Зона широтного Северо-Хангайского сдвига, ограничивающего с севера Хангайское поднятие, характеризуется левосторонними сдвиговыми смещениями. Активные разломы во внутреннем поле Хангайского свода северо-восточного простирания представлены сбросами. Меридиональные разломы, контролируемые рифтовые впадины Северной Монголии, являются сбросами с правосторонней сдвиговой компонентой. Слабоактивизированные разломы восточной части Монголии северо-восточного простирания малоизучены. По нашим данным они имеют сдвиговую или сдвиго-сбросовую кинематику в позднем кайнозое. В активизации и формировании разломной сети определяющую роль играет напряженное состояние земной коры неотектонического этапа, происхождение и эволюция которого до настоящего времени изучены недостаточно.

Как следует из вышеприведенного описания, на территории Монголии и Южной Сибири существует единый ансамбль взаимосвязанных неотектонических структур, морфологическая выраженность и время активизации которых позволяют полагать единые или близкие условия и тектонические механизмы формирования. Для понимания пространственно-временных закономерностей развития напряженно-деформированного состояния земной коры Монголии полезно рассмотреть результаты реконструкций позднекайнозойских полей тектонических напряжений на территории, включающей часть подвижных областей юга Сибири, где эти исследования проводятся с 70–80 гг. XX в. достаточно интенсивно.

2. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ МОНГОЛИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫМИ МЕТОДАМИ

Сведения о палеонапряженном состоянии земной коры неотектонических структур Монголии появились только в конце XX – начале XXI в. До этого исследования напряженного состояния были сосредоточены на сопредельных с Монголией территориях – в южной части Байкальской рифтовой системы, прилегающих районах Забайкалья, горных сооружениях Саяна и Алтая (рис. 2).

Первые данные по кайнозойскому напряженному состоянию юго-западного фланга БРС были получены в работе [Sherman et al., 1973]. Главным объектом изучения тектонической трещиноватости и реконструкций поля напряжений служила зона Тункинского разлома, который тогда впервые был отнесен к левосторонним сбросо-сдвигам. Такая кинематика разлома определяется воздействием на земную кору сдвигового поля напряжений на неотектоническом этапе развития.

Продолжением этих исследований стали работы С.И. Шермана и Ю.И. Днепровского [Sherman, Dneprovsky, 1986, 1989]. По результатам изучения трещиноватости с использованием метода П.Н. Николаева [Nikolaev, 1977] была построена карта полей напряжений и сделаны выводы о господстве раздвиговых и сдвигораздвиговых полей напряжений в центральной части БРС, сменяющихся раздвиго-сдвиговыми и сдвиговыми полями на ее юго-западном и северо-восточном флангах (классификация типов полей напряжений по [Sherman, Dneprovsky, 1986]). Согласно этим реконструкциям, ось растяжения имеет субгоризонтальное положение и северо-западную ориентировку, в то время как залегание оси сжатия меняется от субгоризонтального и наклонного с северо-восточной ориентировкой на флангах до субвертикальной в центральной части БРС. Авторами также был сделан вывод о совпадении регионального поля тектонических напряжений, реконструированного по геолого-структурным данным, с современным полем напряжений по сейсмологическим данным.

Впервые вывод о возможных временных вариациях кайнозойского напряженного состояния в пределах рифтовой системы был сделан В.В. Ружичем [Ruzhich, 1972, 1978; Ruzhich et al., 1972; Ruzhich, Khilko, 1985]. Им были выявлены постмиоценовые надвиговые структуры в северном обрамлении Тункинской впадины и Прихубсугулье, активизированные в условиях сжатия в северо-восточном направлении.

По данным изучения комплекса кайнозойских структур растяжения и сжатия на юго-западном фланге БРС Г.В. Рязановым [Ryazanov, 1978] был сделан вывод о возможности формирования Тункинской впадины в сдвиговом поле напряжений (левый сдвиг со сжатием).

По реконструкциям полей напряжений с использованием ориентировок даек и магмовыводящих каналов кайнозойских базальтов и трещиноватости в них С.В. Рассказовым [Rasskazov, 1993; Dobretsov, Ignatovich, 1989] была установлена смена режима напряжений с растяжения на сдвиг и разворот оси растяжения с северо-западного до субширотного направления в Восточном Саяне и Тункинской впадине в постмиоценовое время.

Изменение режима тектонических напряжений во времени в связи со стадийностью формирования БРС, установленной Н.А. Логачевым [Logatchev, Zorin, 1987], было рассмотрено в работе Д. Дельво [Delvaux et al., 1997]. Этому предшествовала работа [Sankov et al., 1991], в которой по данным исследований полей напряжений

земной коры на северо-восточном фланге БРС был сделан подобный вывод. Для реконструкций полей напряжений Д. Дельво использовалась его авторская программа TENSOR [Delvaux, 1993]. Выделение типов напряженного состояния осуществлялось согласно классификации, опубликованной в работе [Delvaux et al., 1997] (рис. 3). По результатам реконструкций стресс-тензоров, рассчитанных с использованием данных о тектонической трещиноватости и смещениях, в том числе и в кайнозойских осадках, были выделены две главные стадии в развитии БРС: позднеолигоцен-раннеплиоценовая стадия инициации рифта (проторифт) и позднеплиоцен-четвертичная стадия активного рифтообразования [Delvaux et al., 1997]. Для первой стадии с олигоцена до позднего миоцена авторы выделяют транспрессивный режим напряжений, вызванный

глобальным северо-восточным сжатием, действующим в Центральной Азии. Результатом этого стала активизация сдвиговых зон. С позднего миоцена до раннего плиоцена режим транспрессии сменился режимом транстенсии с косым открытием Байкальской впадины в результате экструзии блока Восточного Саяна вдоль юго-западной границы Сибирской платформы. С раннего плиоцена на стадии активного рифтинга режим напряжения сменился на чистое растяжение в центральной части БРС. На юго-западном фланге БРС сдвиговый режим менялся на транстенсивный в плейстоцене и снова на сдвиговый на современном этапе [Delvaux et al., 1997].

Тогда же эволюция поля напряжений БРС рассматривалась в работах В.А. Санькова с соавторами [Sankov et al., 1996, 1997], где также обсуждался вопрос о

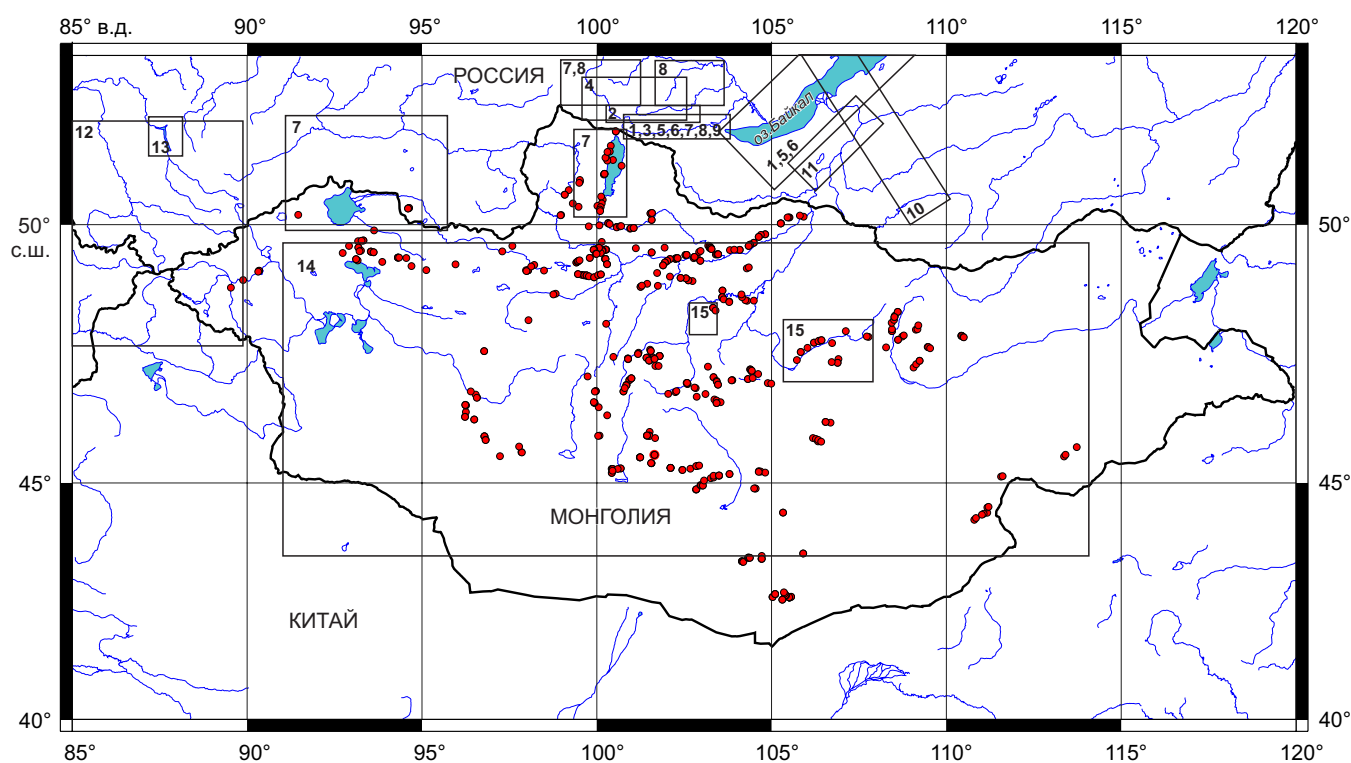


Рис. 2. Схема изученности кайнозойского палеонапряженного состояния земной коры Монголии и прилегающих с севера территорий геолого-структурными методами.

Цифрами обозначены публикации по результатам исследований: 1 – [Sherman et al., 1973; Sherman, Dneprovsky, 1986, 1989]; 2 – [Ruzhich et al., 1972; Ruzhich, 1978; Ruzhich, Khilko, 1985]; 3 – [Ryazanov, 1978]; 4 – [Rasskazov, 1993]; 5 – [Delvaux et al., 1997]; 6 – [Sankov et al., 1996, 1997]; 7 – [Parfeevets, Sankov, 2006; Parfeevets et al., 2002; Sankov, Parfeevets, 2005]; 8 – [Arzhannikova et al., 2004, 2007, 2011a, 2011b; Arzhannikova, Arzhannikov, 2005]; 9 – [Lunina, Gladkov, 2004; Lunina et al., 2009]; 10 – [Seminsky et al., 2012, 2013; Cheremnykh, 2010; Cheremnykh et al., 2018]; 11 – [Lunina, Gladkov, 2009; Lunina et al., 2009]; 12 – [Delvaux et al., 1995, 2013]; 13 – [Dehandschutter et al., 2002]; 14 – [Levi et al., 2004]; 15 – [Seminsky et al., 2017]. Красные точки – точки наблюдений наших исследований на территории Монголии за период 1998–2019 гг.

Fig. 2. Schematic diagram of the studies of the Cenozoic paleostress state of the crust in Mongolia and adjacent northern territories by the geological and structural methods.

Numbers indicate publications based on research results: 1 – [Sherman et al., 1973; Sherman, Dneprovsky, 1986, 1989]; 2 – [Ruzhich et al., 1972; Ruzhich, 1978; Ruzhich, Khilko, 1985]; 3 – [Ryazanov, 1978]; 4 – [Rasskazov, 1993]; 5 – [Delvaux et al., 1997]; 6 – [Sankov et al., 1996, 1997]; 7 – [Parfeevets, Sankov, 2006; Parfeevets et al., 2002; Sankov, Parfeevets, 2005]; 8 – [Arzhannikova et al., 2004, 2007, 2011a, 2011b; Arzhannikova, Arzhannikov, 2005]; 9 – [Lunina, Gladkov, 2004; Lunina et al., 2009]; 10 – [Seminsky et al., 2012, 2013; Cheremnykh, 2010; Cheremnykh et al., 2018]; 11 – [Lunina, Gladkov, 2009; Lunina et al., 2009]; 12 – [Delvaux et al., 1995, 2013]; 13 – [Dehandschutter et al., 2002]; 14 – [Levi et al., 2004]; 15 – [Seminsky et al., 2017]. Red dots – the observation points of our research on the territory of Mongolia for the period 1998–2019.

двухстадийном развитии БРС. Большой массив данных по тектонической трещиноватости, собранный в центральной части БРС, а также в Тункинской и Кичерской впадинах, и реконструкции стресс-тензоров позволили выделить два главных типа полей напряжений: сдвиговые и раздвиговые, соответствующие сдвиговому режиму и режиму растяжения. Для реконструкций использовалась программа TENSOR [Delvaux, 1993]. Сдвиговый тип поля напряжений авторы связывают с ранним этапом развития БРС, соответствующим стадии медленного рифтогенеза по Н.А. Логачеву, режиму растяжения – со стадией быстрого рифтогенеза [Logatchev, Zorin, 1987].

В монографии [Parfeevets, Sankov, 2006] описаны результаты исследований позднекайнозойских полей напряжений земной коры юго-западного фланга БРС (Тункинская, Хубсугульская, Дархатская впадины) и сопредельных территорий, Южного Забайкалья, Тувы и прилегающей северной части Монголии. Реконструкции палеонапряженного состояния в рамках работ этих авторов базировались на исследовании тектонической трещиноватости, зеркал скольжения в зонах активных разломов с применением программы TENSOR [Delvaux, 1993]. Для юго-западного фланга БРС (Тункинская система впадин и Хубсугульская впадина), а также сопредельных территорий Восточного Саяна (в частности, Жомболокская впадина) установлена двухстадийная эволюция поля напряжений. Первой стадии (олигоцен – поздний миоцен) соответствует режим трансенсии с северо-западным направлением оси растяжения. На этой стадии происходило основное развитие Тункинской системы впадин и Хубсугульской впадины с мощным осадконакоплением и обширным базальтовым вулканизмом. Региональный режим трансенсии устанавливается на основе того, что ориентировка оси растяжения находится под углом к простиранию рифтовых впадин, что добавляет к растяжению сдвиговую компоненту. Второй стадии (поздний плиоцен – современный

этап) соответствует общий режим транспрессии с северо-восточной ориентировкой оси сжатия и северо-западной оси растяжения. На этой стадии произошла инверсия в тектоническом развитии территории, прекращение опускания на большей части впадин, смена кинематики смещений по разломам со сбросовой и сдвиго-сбросовой на сдвиговую, взбросо-сдвиговую и надвиговую в зависимости от простирания структур и формирование инверсионных поднятий. При этом остаются локальные зоны растяжения на участках структур северо-восточного простирания, ориентированных ортогонально к оси растяжения, то есть локальные впадины формируются по типу пулл-апарт. Кроме этого, установлено, что две этих основных стадии разделены между собой кратковременным эпизодом северо-западного сжатия (поздний миоцен – ранний плиоцен), который был выделен на основании имеющихся датированных деформаций сжатия постмиоценового возраста, но при этом достоверный источник такого сжатия установлен не был. Главный Саянский разлом на всем неотектоническом этапе истории развития юго-западного фланга БРС играл роль трансферной структуры, по которой осуществлялась передача деформаций между Байкальской впадиной и Тункинской системой впадин. Кинематически он представлял собой левосторонний сдвиг с небольшой взбросовой компонентой, роль которой возрастала во времени.

Исследования в зонах активных разломов Тувы (Эрзино-Агардагский, Южно-Таннуольский, Саяно-Тувинский, Оттугтайгино-Аззаский) показали, что неотектонические структуры этой территории начиная с плиоцена и до настоящего времени развиваются в едином поле режима транспрессии под влиянием северо-восточного сжатия коллизионного происхождения [Parfeevets et al., 2002; Parfeevets, Sankov, 2006; Sankov, Parfeevets, 2005]. Нами были реконструированы поля палеонапряжений режимов транспрессии, сжатия и сдвига с осью сжатия, ориентированной главным образом на

Тип стресс-тензора	РАСТЯЖЕНИЕ				СДВИГ				СЖАТИЕ				
Стресс-символ													
Стресс-отношение R	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Стресс-режим	Радиальное РАСТЯЖЕНИЕ	Чистое РАСТЯЖЕНИЕ	ТРАНС-ТЕНЗИВНЫЙ		Чистый СДВИГ	ТРАНС-ПРЕССИВНЫЙ		Чистое СЖАТИЕ	Радиальное СЖАТИЕ				
Стресс-индекс R'	0.00	0.25	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	
Соотношение R' и R	R'=R			R'=2-R				R'=2+R					

Рис. 3. Классификация стресс-тензоров по [Delvaux et al., 1997].
 Fig. 3. Classification of stress tensors (after [Delvaux et al., 1997]).

северо-восток и субмеридионально. При этом в западной части Тувы отмечается разворот оси сжатия к северо-западу.

В работах [Arzhannikova, Arzhannikov, 2005; Arzhannikova et al., 2004, 2007, 2011a, 2011b] по результатам морфотектонического анализа на территории Восточного Саяна, юго-западном фланге БРС и юго-западной окраине Сибирской платформы также подтверждено наличие транспрессивного режима деформирования в плиоцен-четвертичное время, в результате чего под действием сжатия северо-восточного и субмеридионального направлений сформировался либо активизировался комплекс сдвиговых и взбросо-сдвиговых структур.

О.В. Луниной и А.С. Гладковым [Lunina, Gladkov, 2004; Lunina et al., 2009] также проводились исследования тектонической трещиноватости, напряженного состояния и разломно-блокового строения юго-западной части БРС (Тункинская впадина и ее горное обрамление). Как и в работах [Sherman, Dneprovsky, 1986, 1989], для реконструкций палеонапряжений использовался метод П.Н. Николаева [Nikolaev, 1977] и классификация типов полей напряжений по [Sherman, Dneprovsky, 1986]. Несмотря на то, что в Тункинском Прибайкалье авторами были реконструированы поля напряжений как растяжения, так и сдвига (57 % и 24 % от всех решений соответственно), а также имелись примеры реконструкций полей режимов сжатия и сжатия со сдвигом, авторы пришли к выводу о том, что формирование структуры Тункинского рифта происходило в условиях косоугольного растяжения с осью растяжения, ориентированной на северо-запад – юго-восток. Они заключили, что на протяжении всего развития с олигоцена Тункинская ветвь впадин не испытывала многоэтапных изменений напряженного состояния, за исключением фазы сжатия в северо-восточном направлении в позднем миоцене – раннем плиоцене. После фазы сжатия, связанной с воздействием Индо-Азиатской коллизии, Тункинская впадина продолжает свое развитие в условиях растяжения со сдвигом.

Комплексные работы, включающие геолого-структурные, геоморфологические, геофизические и гидрогеологические исследования, были проведены по профилям Баяндай – мыс Крестовский, Баяндай – Тарбагатай – Красный Чикой [Seminsky et al., 2012, 2013; Cheremnykh, 2010, 2015, 2018; Cheremnykh et al., 2018], пересекающим Байкальскую впадину и мезозойско-кайнозойские впадины Забайкалья. Вдоль профилей были изучены разноранговые дизъюнктивы, их внутренняя структура и восстановлено напряженное состояние в разломных зонах и за их пределами в слабонарушенных блоках. Геолого-структурные исследования проводились с использованием метода спецкартирования [Seminsky, 1994, 2003], основу которого составляет парагенетический анализ массовых замеров трещиноватости, а также данные о более крупных разрывных нарушениях земной коры. По этим данным, в западной части профиля Баяндай – мыс Крестовский, в Прибайкалье,

наиболее часто встречаемыми являются напряженные состояния растяжения и сдвига, а большинство разломов – сбросы, реже – сбросо-сдвиги и сдвиги с преобладанием левосторонней компоненты смещений [Cheremnykh, 2010]. Надвиги и взбросы более редки и проявляются за пределами разломных зон. В отдельных случаях их плоскости были активизированы при рифтогенезе. По результатам исследований авторы подтверждают представление об эволюции напряженного состояния земной коры БРС (в частности, Западного Прибайкалья) от северо-западного сжатия в докайнозойское время через сдвиговый режим с северо-восточным направлением оси сжатия и северо-западным осью растяжения (авторы предполагают его позднеплиоцен-плейстоценовый возраст по возрасту трещиноватости манзурского аллювия) к позднекайнозойскому растяжению с северо-западным направлением оси растяжения. На юго-восточном плече Южно-Байкальской впадины в зоне влияния Дельтового и Бортового разломов реконструированы обстановки растяжения и левого сдвига [Cheremnykh, 2015, 2018]. Северо-восточные разрывы представляют собой по большей части сбросы, реже сдвиги, субширотные – левосторонние сдвиги. В целом, разломы формировались в условиях растяжения. На юго-восточном отрезке профиля исследовались крупные разломные зоны и активизированные в кайнозойское мезозойские впадины. Показано, что Джидино-Витимская разломная зона сформирована в условиях растяжения северо-западной ориентировки, и ее структура состоит из разрывов сбросового и сдвигового типа. Для Тугнуй-Кондинской зоны большинство решений стресс-тензоров характеризуют режим растяжения, реже отмечаются сдвиг и сжатие. Большинство решений стресс-тензоров Хилокской зоны относятся к северо-восточным сбросам и растяжению.

Ранговый анализ полей тектонических напряжений с использованием данных о тектонической трещиноватости в кайнозойских осадках для Танхойской ступени на южном борту Южно-Байкальской впадины позволил авторам работы [Seminsky, Cheremnykh, 2011] установить для этого района шесть иерархических уровней полей напряжений. Определяющим для формирования изученной трещиноватости являлось поле напряжений растяжения первого регионального уровня с северо-западным – юго-восточным простиранием оси растяжения. На втором и третьем региональных уровнях также выделены поля растяжения с различающимися простираниями оси растяжения. Ранние этапы формирования трещиноватости в осадках авторы связывают с действием сдвигового поля напряжений.

В работах [Lunina, Gladkov, 2009; Lunina et al., 2009] рассмотрены напряженное состояние и разломно-блоковое строение забайкальских впадин – Гусиноозерской и Селенгино-Итанцинской. Авторы считают, что мезозойско-кайнозойское развитие впадин происходило в условиях доминирующего северо-западного растяжения: сначала под действием собственного горячего мантийного источника, затем под действием тектонических

процессов в БРС. Развитие деформаций сжатия, зафиксированных в Гусиноозерской впадине, авторы объясняют гравитационной природой или действием напряжений сдвига «второго порядка, вызванного неоднородностями строения земной коры» [Lunina et al., 2009], а локальные вариации полей напряжений в Селенгино-Итанцинской впадине – активизацией разноориентированных разрывных нарушений.

В западной части описываемой территории, прилегающей к Монголии, исследования напряженного состояния проводились в Западном Саяне, Туве и Горном Алтае [Delvaux et al., 1995, 2013; Dehandschutter et al., 2002; Sankov, Parfeevets, 2005]. Многостадийная история развития и эволюция поля напряжений установлена для Курайско-Чуйской депрессии и Зайсанской впадины [Delvaux et al., 1995, 2013]. Курайско-Чуйская депрессия после продолжительного позднемиоценового – раннепалеогенового периода стабилизации начала свое развитие в позднем эоцене – раннем олигоцене как грабен в северной части ее современного положения. Режим растяжения фиксируется до миоцена – раннего плиоцена с признаками конседиментационного растяжения [Delvaux et al., 2013], хотя в более ранней работе [Delvaux et al., 1995] Курайско-Чуйская депрессия описывается как присдвиговая впадина. С конца раннего плиоцена здесь фиксируется инверсия в развитии впадины в транспрессивном режиме, сильный тектонический импульс со значительными вертикальными дифференцированными движениями и взбросо-надвиговой активизацией пограничных разломов. Реконструкция тензоров палеонапряжений показывает северо-восточную [Delvaux et al., 1995] или субмеридиональную ориентировку оси сжатия с режимами сдвига, транспрессии и сжатия на поздний плиоцен – ранний плейстоцен и северо-восточную ее ориентировку с режимами сдвига, транспрессии и сжатия на средний плейстоцен – голоцен [Delvaux et al., 2013]. Эпизод интенсивной инверсии стартовал с 3.5 млн лет и длился до конца плейстоцена. В последний 1 млн лет в Алтае-Саянской области, по мнению авторов [Delvaux et al., 2013], существует режим относительной тектонической релаксации с ослаблением тектонических деформаций.

Эволюция поля напряжений и история развития Телецкого грабена (Западный Саян) рассмотрена в работе [Dehandschutter et al., 2002]. По мнению авторов, грабен развивался со среднего плейстоцена в две стадии. В первую стадию открытие южной части впадины происходило по типу пулл-апарт в Шапшал-Телецкой сдвиговой зоне под действием поля напряжений режима транспрессии с северо-северо-восточным направлением сжатия. Затем при активизации левосторонних сдвиговых движений по Западно-Саянскому разлому северо-восточного простирания осуществлялось открытие северной части впадины как серии суббассейнов. С голоцена и до настоящего времени открытие впадины происходит под действием субширотного ориентированного растяжения, хотя при этом авторы не уточняют, носит ли это растяжение региональный характер или

является локальным в ответ на региональное, действующее в этой части Юго-Восточной Азии субмеридиональное и северо-восточное коллизийное сжатие.

Для территории Монголии первые единичные реконструкции поля тектонических напряжений, выполненные С.В. Ласточкиным с использованием метода М.В. Гзовского [Gzovsky, 1975], были опубликованы в работе [Solonenko, Florensov, 1985]. В дальнейшем исследования палеонапряженного состояния проводились К.Г. Леви и А.И. Мирошниченко в рамках деятельности Российско-Монгольской экспедиции 1987–1989 гг. Часть результатов опубликована в работе [Levi et al., 2004]. Авторами были проведены структурно-геологические и структурно-геоморфологические исследования в крест и вдоль простирания основных неотектонических структур Монголии в 200 точках наблюдения. Анализ 240 реконструированных стресс-тензоров позволил сделать выводы об ориентации основных осей палеонапряжений для различных частей Монголии. Для реконструкций использовались данные о тектонической трещиноватости и смещениях по разрывам. В целом, ось сжатия ориентирована на северо-восток, ось растяжения – на северо-запад. При этом ось сжатия характеризуется близгоризонтальным положением, в то время как ось растяжения имеет широкий диапазон углов наклона, достигающих 50–70°. Ориентация оси сжатия в реконструированных стресс-тензорах более упорядоченна, чем оси растяжения, и указывает на больший вклад сжатия в структурообразование Монголии. Для Монгольского Алтая и западного замыкания Долины Больших Озер авторами устанавливается близгоризонтальная северо-восточная, иногда субмеридиональная ориентация оси сжатия, сдвиговый и надвиговый тип полей напряжений. В зоне сочленения Монгольского и Гобийского Алтая реконструированы надвиговые и сдвиговые поля напряжений, ось сжатия меняет свое направление от северо-восточного до субширотного при близгоризонтальном положении. Сдвиговые поля напряжений в комбинации со взбросовым и сбросовым типом характерны для Гобийского Алтая, преобладает субмеридиональная ориентировка оси сжатия. Сбросовый и сдвиговый тип полей напряжений установлен авторами для восточной части Гобийского Алтая. Болнайская разломная зона характеризуется разбросом по типу полей напряжений и ориентации осей. Северо-северо-западная и северо-северо-восточная ориентировка осей растяжения и сжатия соответственно с наклоном осей от 20 до 40° типична для восточной части зоны. Для западной части – ось растяжения разворачивается до западно-северо-западной, а ось сжатия до северо-восточной, обе субгоризонтальны. Для Хангая авторами реконструированы сдвиговые поля напряжений в его западной и северной части и сбросовый тип полей со сдвиговой компонентой – в его южной и внутренней части. Оси сжатия изменяются от северо-восточных до субширотных, а оси растяжения – от северо-западных до субмеридиональных. Неотектонические структуры верхнего течения рек

Керулен и Тола характеризуются сбросовым типом полей напряжений со сдвиговой компонентой с меридиональным положением оси растяжения и наклонной субширотной осью сжатия. В юго-восточной части Монголии оси сжатия и растяжения имеют северо-восточную и северо-западную ориентировку соответственно при изменении угла наклона от 0 до 30°, характеризуя, по-видимому, сдвиговые поля. Район вулканического плато Дариганга, по мнению авторов, характеризуется разнообразием полей напряжений (сдвиговый, сбросовый и взбросовый тип полей) и широким разбросом в ориентации главных осей напряжений.

Совместный анализ геолого-структурных, сейсмологических и эманационных (радоновых) данных по разломным зонам Хустай, Эмээлт, Могод (Центральная Монголия) был проведен в работе [Seminsky et al., 2017]. Было установлено, что при длительной истории развития в разных полях напряжений на современном этапе эти структуры испытывают сегментную активизацию. Хустайская структура на современном этапе испытывает активизацию в ее центральной части в зоне формирующегося (по сейсмологическим данным) левостороннего субширотного сдвига. При этом соответственно активизируются различные участки разломной зоны в зависимости от ориентировки со сбросовой компонентой смещений по северо-восточным левым сдвигам по субширотным и правым – по субмеридиональным разрывам, фиксируемым по полям напряжений разного ранга. Разрывам, субпараллельным структуре Эмээлт, на современном этапе соответствуют правосторонние смещения. Для Могодской структуры установлено, что деструкция в кайнозой происходила в сдвиговом поле напряжений с правосторонними сдвиговыми смещениями по субмеридиональной зоне и взбросовом – по северо-западной ветви. Ось сжатия имеет северо-восточную ориентировку, ось растяжения – северо-западную. Это же поле напряжений превалирует и на современном этапе [Bayasgalan, Jackson, 1999]. Авторы пришли к выводу, что разломообразование в земной коре на Улан-Баторском геодинамическом полигоне определяется обстановкой регионального сдвига с ориентацией оси сжатия в направлении северо-восток, а оси растяжения – северо-запад. В этом поле напряжений развивается сеть из четырех направлений разломных зон, крупные из которых (субширотные левые и субмеридиональные правые сдвиги) образуют узловое сочленение в центральной части полигона. Разломные зоны северо-восточных и северо-западных систем наследуют сеть новейших разрывов, развиваются в обстановках сжатия или растяжения, как, например, в обстановке сжатия, возможно, с правым сдвигом активизируется разлом Эмээлт.

3. КАРТА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ МОНГОЛИИ В ПОЗДНЕМ КАЙНОЗОЕ

Наши исследования на территории Монголии в период 1998–2019 гг. проводились в пределах всех основных неотектонических зон [Sankov et al., 2003, 2004,

2017; Sankov, Parfeevets, 2005; Parfeevets, Sankov, 2006, 2009, 2010, 2012, 2013, 2018; Parfeevets et al., 2016]. В Центральной и Западной Монголии анализ тектонических деформаций в зонах активных разломов и реконструкции кайнозойских полей напряжений были осуществлены для центральной части Монгольского блока – Хангайского поднятия и для его периферийных частей – поднятий Монгольского и Гобийского Алтая, хребтов Хан-Тайшир-Нуруу, Хан-Хухэй, Болнай и межгорных впадин Долины Озер и Убсунурской впадины. В Центральной Монголии исследования активных разломов и напряженного состояния были проведены также в пределах тектонической седловины между Хангайским и Хэнтэйским поднятиями, в Орхон-Тольском междуречье и на восточном окончании Северо-Хангайского разлома. В северной части Монголии исследования проводились в зонах активных разломов впадин юго-западного окончания БРС – Хубсугульской и Дархатской и серии неотектонических впадин, оперяющих структуры северного крыла Северо-Хангайского сдвига. В восточной части Монголии работы были сосредоточены на активных структурах Хэнтэйского поднятия и плато Дариганга, а в южной и юго-восточной части – на восточном окончании Гобийского Алтая и в Юго-Восточной Гоби (см. рис. 2).

Данные наших многолетних исследований кинематики активных разломов, тектонической трещиноватости и смещений в их зонах, собранные на единой методической основе, использованы для реконструкций позднекайнозойского напряженно-деформированного состояния земной коры территории Монголии. Созданная база данных реконструированных стресс-тензоров насчитывает более 750 решений. Расчеты стресс-тензоров палеонапряжений проведены с использованием технологии, реализованной в программных комплексах TENSOR [Delvaux, 1993] и WinTENSOR [Delvaux, 2012]. Для классификации стресс-тензоров использовалась схема, опубликованная в работе [Delvaux et al., 1997].

Частные стресс-тензоры вынесены на карту активных разломов территории Монголии в виде специальных знаков, показывающих направление действия максимальных горизонтальных напряжений сжатия и раскрашенных согласно типу напряженного состояния (рис. 4).

Максимально выраженные деформации сжатия, связанные с северо-восточным коллизионным сжатием, сосредоточены по периферии Монгольского блока на западной и южной границах, где формируются право- и левосторонние транспрессивные структуры Монгольского и Гобийского Алтая, сочетающие в себе как сдвиговые, так и взбросовые и взбросо-сдвиговые деформации (рис. 4). На гистограммах, отражающих режимы деформирования, для этих районов выделяется широкий максимум в районе значений R' от 1.75 до 3.00, соответствующий условиям транспрессии и сжатия (рис. 5, гистограммы 1, 2, 3). Деформации укорочения земной коры характерны не только для горных хребтов, обрамляющих Монгольский блок, им также подвержены

и межгорные депрессии, разделяющие Монгольский, Гобийский Алтай и Хангайский свод (Долина Озер, Котловина Больших Озер), промежуточные хребты (Хан-Тайшир-Нуруу, Дэлгер-Хангай), а также южная часть Хангайского поднятия, где выделяется Южно-Хангайский блок [Sankov, Parfeevets, 2005; Parfeevets, Sankov, 2010, 2012]. Эти данные подтверждены по результатам полевых исследований 2019 г. Блок отделен от остальной части Хангайского поднятия Южно-Хангайским разломом. Надвиговые деформации отмечены на восточном сегменте Южно-Хангайского разлома, имеющего северо-западное простирание (Баянхонгорская

впадина, хребет Усгехийн Нуруу); сдвиговые левосторонние деформации фиксируются по смещениям рек Тацин-Гол, Шарын-Гол. По его западному субширотному сегменту отмечаются левосторонние сдвиговые смещения [Walker et al., 2008]. В целом, в зонах разломов Западной Монголии, так же как и на территории Тувы [Parfeevets et al., 2002, Parfeevets, Sankov, 2006; Sankov, Parfeevets, 2005], режим транспрессии установлен в плиоцене и действует до настоящего времени.

Широтные надвиговые и складчатые деформации зафиксированы в Бэгэрской и Тугрэгской впадинах. В Долиноозерской впадине в районе сомона Жинст,

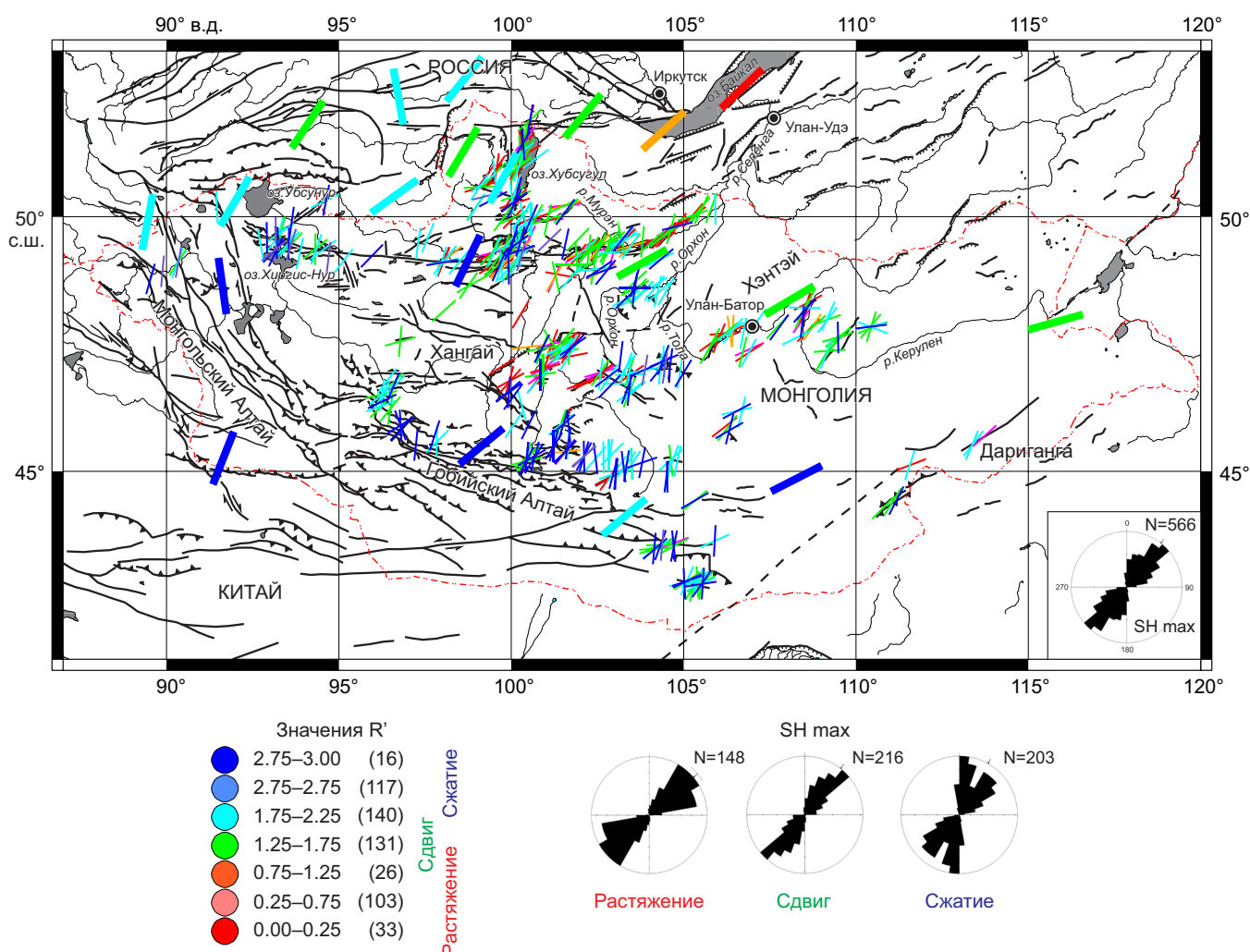


Рис. 4. Карта позднекайнозойского напряженного состояния земной коры Монголии.

Цветными линиями показано простирание оси максимального горизонтального сжатия S_{Hmax} и тип напряженного состояния (тонкие линии соответствуют реконструкциям по геолого-структурным данным, толстые – по данным о механизмах очагов землетрясений). Цвет линии соответствует диапазону значений индекса R' [Delvaux et al., 1997]. Количественное распределение решений по типам напряженного состояния показано внизу слева. На врезке в поле рисунка показана роза-диаграмма простирания S_{Hmax} для всех реконструкций по геолого-структурным данным. Внизу справа – роза-диаграммы простирания S_{Hmax} для условий растяжения, сдвига и сжатия.

Fig. 4. The Late Cenozoic crustal stress map of Mongolia.

Coloured lines – strike of the maximum horizontal compression axis (S_{Hmax}) and stress state types (thin lines – reconstructed from the geological and structural data, thick lines – reconstructed from the earthquake focal mechanisms). The lines differ in colour according to the range of R' index values [Delvaux et al., 1997]. Bottom left – quantitative distribution of solutions by stress state types. Inset – rose diagram of S_{Hmax} strike for all reconstructions based on the geological and structural data. Bottom right – rose diagrams of S_{Hmax} strike under extension, shearing and compression.

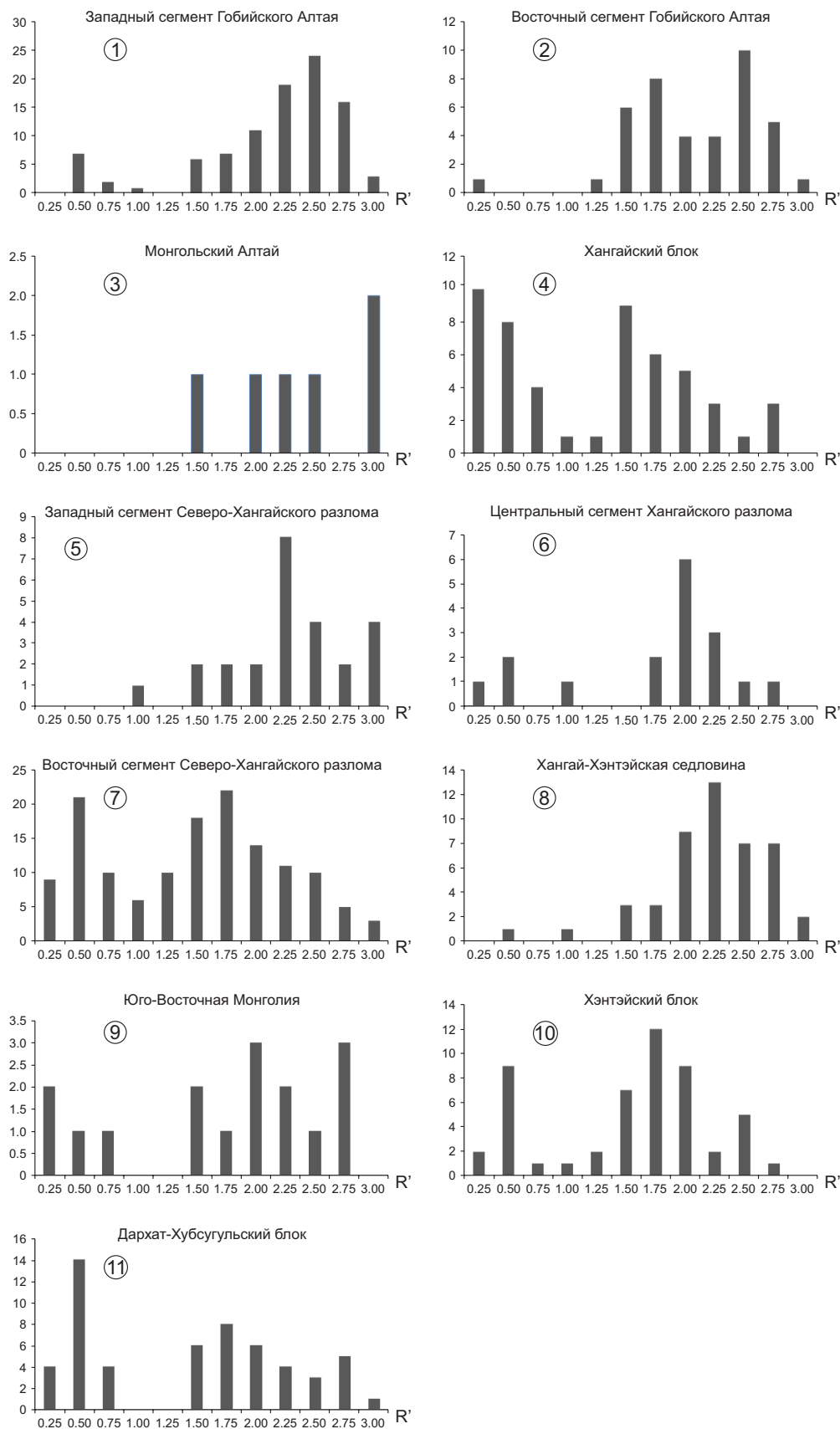


Рис. 5. Гистограммы, показывающие количественное соотношение реконструированных стресс-тензоров кайнозойского поля напряжений разных режимов деформирования по классификации [Delvaux et al., 1997] для различных тектонических структур территории Монголии.

Fig. 5. Histograms showing the quantitative ratios of the reconstructed stress tensors of the Cenozoic stress field in different deformation modes (according to the classification from [Delvaux et al., 1997]) for the tectonic structures of Mongolia.

помимо складчатых деформаций, зафиксированы левосторонние сдвиги, сочленяющие структуры Гобийского Алтая и Южно-Хангайского блока. Северо-западный хребет Хан-Тайшир Нуруу характеризуется сочетанием надвиговых и сдвиговых деформаций, субширотный Дэлгэрхангай Нуруу – надвиговыми (см. рис. 4). В целом, реконструкции полей палеонапряжений, выполненные в зонах активных разломов этой части Монголии, характеризуют режимы сжатия, транспрессии и сдвига с осью сжатия, ориентированной главным образом на северо-восток. В северной части Монгольского Алтая, в районе г. Улгий, реконструированы режимы сжатия и транспрессии с осью сжатия в основном субмеридионального направления. Центральная часть Ханайского поднятия характеризуется разнообразием деформаций, что связано, скорее всего, с взаимодействием растяжения, возникшего в результате динамического влияния мантийной аномалии, локализованной восточнее 100° в.д., и регионального северо-восточного сжатия (см. рис. 4). В этой части Хангайя вместе со сдвиговыми деформациями присутствует большое количество структур растяжения, включая Орхонский грабен. Реконструкции полей палеонапряжений характеризуют вместе со сдвиговым режимом растяжения с северо-западной ориентировкой оси растяжения и радиального растяжения. В западной части Хангайского поднятия распространены преимущественно сдвиговые деформации [Walker et al., 2008]: левосторонние по субширотным и правосторонние по северо-западным разломам. На гистограмме 5 (рис. 5) для Хангайского блока, наряду с преобладанием реконструкций режимов растяжения, имеется максимум, соответствующий сдвиговым и транспрессионным условиям деформирования по его южному обрамлению.

Относительная жесткость Хангайского блока способствует передаче деформаций на его северное ограничение – Северо-Хангайский разлом и далее на структуры юго-западного фланга БРС [Parfeevets, Sankov, 2010, 2012; Parfeevets et al., 2016; Sankov et al., 2017]. В зоне субширотного Северо-Хангайского левостороннего сдвига наблюдается увеличение роли сжатия в его западном сегменте, который приобретает запад-северо-западное простирание (см. рис. 4). Этот сегмент характеризуется формированием транспрессионных структур хребта Хан-Хухэй, сочетающих сдвиговые левосторонние деформации в центральной части хребта и молодые надвиговые – в южном и северном бортах хребта [Parfeevets, Sankov, 2013]. Реконструкции полей напряжений здесь показывают режимы сжатия и транспрессии в зонах бортовых разломов и сдвига и транспрессии на центральном сдвиге с субмеридиональной и северо-восточной ориентировкой оси сжатия (рис. 5, гистограмма 5).

Центральный сегмент разлома характеризуется парагенезом сдвиговых структур – левосторонних сдвигов и мелких впадин пулл-апарт, а разрывы Болнайской сейсмодислокации в зоне разлома формируют структуру, сочетающую трещины растяжения и валы сжатия,

типичные для левостороннего сдвига. Реконструкции полей напряжений центрального сегмента Северо-Хангайского разлома характеризуют сдвиговый режим с северо-восточным направлением оси сжатия (рис. 5, гистограмма 6). На восточном сегменте разлома фиксируется увеличение роли растяжения с формированием структуры "releasing bends" – серии присдвиговых впадин северо-восточного и субширотного простирания, занятых долинами рек Селенга, Бугсэйн-Гол, Эгийн-Гол (Бугсэингольская, Хутагская, Селенгинская, Цаганнурская, Хантайская) [Sankov et al., 2017] (см. рис. 4). Реконструкции полей напряжений здесь характеризуют режимы растяжения, транспрессии и сдвига с северо-восточной осью сжатия и северо-западной осью растяжения (рис. 5, гистограмма 7).

Северное крыло восточного сегмента Северо-Хангайского разлома характеризуется аналогичной ситуацией. Здесь также формируются впадины, от крупных, типа Муренской и Эрхилнурской, до мелких. Фиксируются сочетания сдвиговых деформаций по субширотным и субмеридиональным разломам и сбросовых – по северо-восточным [Parfeevets, Sankov, 2009, 2013]. Реконструкции полей напряжений аналогичны таковым для восточного сегмента Северо-Хангайского разлома. В юго-восточном крыле Северо-Хангайского разлома (междуречье рек Орхон и Тола) преобладают субмеридиональные и северо-западные правосторонние сдвиги, взбросо-сдвиги и надвиги, и реконструированы соответствующие им стресс-тензоры сдвига, транспрессии и сжатия с северо-восточной ориентировкой оси сжатия (см. рис. 4) [Parfeevets et al., 2016; Sankov et al., 2017]. В целом, можно заключить, что распределение типов напряженного состояния крыльев восточного сегмента Северо-Хангайского разлома связано с их положением относительно окончания главного сместителя сдвига и соответствует картине распределения секторов сжатия и растяжения вблизи окончания разлома в теоретической модели левого сдвига. Оперяющие субширотные разломы южного крыла Северо-Хангайского разлома, Дзуннурская система разломов и Хануйгольский разлом характеризуются левосторонними сдвигами и взбросо-сдвигами, а реконструкции полей напряжений характеризуют режимы сдвига, транспрессии и сжатия с северо-восточной ориентировкой оси сжатия [Parfeevets et al., 2016; Sankov et al., 2017].

В пределах Хангай-Хэнтэйской тектонической седловины (Центральная Монголия) активизация разломов на позднекайнозойском этапе происходила селективно, и для района характерен кластерный тип локализации комплекса активных разломов [Sankov et al., 2015, 2017]. Кинематика разломов и их морфолого-генетический тип связаны с простиранием наследуемой ими древней структуры. Разломы широтного и западно-северо-западного простирания являются левосторонними сдвигами при обязательном наличии взбросовой или надвиговой компоненты. Разломы северо-западного простирания являются взбросами или надвигами

с левосторонней, а при отклонении к северу – правосторонней компонентой горизонтальных смещений. Горизонтальная составляющая смещений, как правило, превышает вертикальную. Реконструкции стресс-тензоров последнего этапа деформаций в зонах активных разломов Хангай-Хэнтэйской седловины по тектонической трещиноватости и смещениям по разрывам указывают на преобладание условий сжатия и сдвига с северо-северо-восточным направлением оси максимального сжатия (см. рис. 4; рис. 5, гистограмма 8).

В Юго-Восточной Монголии наши исследования [Parfeevets, Sankov, 2018] были сосредоточены в той ее части, в которой выделяются в разной степени активизированные на неотектоническом этапе мезозойские юрско-меловые Восточно-Гобийская и Южно-Гобийская депрессии. На кайнозойском этапе эти впадины испытали совершенно различную по стилю активизацию. В Восточно-Гобийской депрессии в третичное время происходило левостороннее сдвигообразование в Восточно-Гобийской разломной зоне и развитие пост-поздне-меловых надвигов в зонах северо-восточных разломов северного борта Тотошанского поднятия (Далайн-Хандийская впадина). Деформации поздне-меловых осадков и реконструкции стресс-тензоров режимов сжатия и транспрессии в зонах разломов свидетельствуют о субмеридиональном и северо-западном сжатии в раннем кайнозое. Во второй половине кайнозоя эта территория была малоактивна. Активизация Южно-Гобийской депрессии, в отличие от Восточно-Гобийской, началась с позднего кайнозоя (конец миоцена – начало плиоцена). В этом районе происходит активное формирование молодых горных поднятий восточного окончания Гобийского Алтая, которые «протыкают» осадки уже существовавших с мезозоя впадин. Эта территория характеризуется признаками плиоцен-четвертичной активности субширотных и северо-западных сдвигов и надвигов. Реконструкции полей напряжений характеризуют режимы сжатия, транспрессии и сдвига с ориентировкой оси сжатия на северо-восток (см. рис. 4). Гистограмма 9 (рис. 5) построена по данным реконструкций, относящихся к позднему (миоцен-четвертичному) этапу деформаций.

Для разломной тектоники Хэнтэйского поднятия характерно сочетание кайнозойских сбросовых и сдвиговых структур с подчиненной долей взбросовых разрывных нарушений [Seminsky et al., 2017]. Реконструкции стресс-тензоров наиболее поздних этапов деформаций в их зонах позволяют заключить, что к позднекайнозойскому этапу могут быть отнесены реконструированные стресс-тензоры растяжения, транстенсии и сдвига с северо-восточным простиранием оси максимального сжатия. При этом структуры растяжения проявлялись на ранней стадии, а сдвига – на поздней. На восточном скате Хэнтэйского поднятия и прилегающих территориях преобладают реконструкции сдвига и сжатия. Наблюдается изменение простирания направления максимального горизонтального сжатия от северо-восточного до восточно-северо-восточного. Последнее

хорошо иллюстрируется находкой левосторонних поздне-плейстоценовых – голоценовых смещений по активному разлому северо-западного простирания, ограничивающему небольшую кайнозойскую впадину к северу от г. Ундерхаан.

Еще ярче проявленная эволюция кайнозойского поля напряжений установлена для расположенных на территории Северной Монголии впадин юго-западного фланга БРС – Хубсугульской и Дархатской [Sankov et al., 2003, 2004; Parfeevets, Sankov, 2006; Fedotov et al., 2006]. Поле напряжений менялось от растяжения в северо-западном – юго-восточном и субширотном направлении на ранней стадии (миоцен – ранний плиоцен) до сдвигового и транспрессивного с северо-восточным направлением сжатия на поздней (поздний плиоцен – четвертичный) (см. рис. 4). При этом горизонтальная компонента движений по разломам на поздней стадии определяется их ориентировкой: северо-восточные и субширотные ориентированные разломы имеют левостороннюю компоненту смещений, северо-западные и субмеридиональные – правостороннюю. Рифтообразование, формирование впадин и накопление основной мощности осадков происходило в первую стадию, во вторую произошла инверсия в развитии впадин и сокращение осадконакопления ([Fedotov et al., 2006] – для Хубсугульской впадины) с развитием сдвиговых деформаций в зонах бортовых сбросовых разломов. При этом северная часть Хубсугульской впадины, ограниченная с запада северо-восточным разломом, по-видимому, испытывает дальнейшее опускание. Реконструкции полей напряжений в зонах активных бортовых разломов Хубсугульской и Дархатской впадин характеризуют режимы растяжения и транстенсии с северо-западной ориентировкой оси растяжения (ранняя стадия) и режимы сдвига и транспрессии с северо-восточной ориентировкой оси сжатия (поздняя стадия) (рис. 5, гистограмма 11).

Согласно роза-диаграмме на врезке к рис. 4, максимум простирания S_{Hmax} для всех типов стресс-тензоров имеет северо-восточное направление. В целом, ориентация осей максимального горизонтального сжатия S_{Hmax} позднекайнозойского возраста варьируется от субмеридиональной, преобладающей на западе Монголии, до северо-восточной и восточно-северо-восточной, которая появляется на востоке. Статистический анализ показывает, что на исследованной территории преобладающим развитием пользуются режимы деформаций транспрессии, чистого сдвига и сжатия (см. рис. 4). Существенно меньше реконструировано стресс-тензоров чистого растяжения и транстенсии. Наши данные в большинстве случаев не противоречат данным реконструкций, опубликованным в работе [Levi et al., 2004], как и основным выводам о пространственных закономерностях позднекайнозойского напряженного состояния земной коры Монголии.

Если разделить всю совокупность стресс-тензоров на три типа, связанные со сжатием, сдвигом и растяжением, то можно проследить интересную закономерность

зависимости простирания осей максимального горизонтального сжатия S_{Hmax} от типа напряженного состояния. Из роза-диаграмм на рис. 4 следует, что для распределения стресс-тензоров растяжения характерен один широкий максимум северо-восточного простирания от 30 до 80°, при этом для стресс-тензоров сдвига максимум также направлен на северо-восток, а диапазон простираний существенно уже – от 30 до 50°. Для стресс-тензоров сжатия четко выделяются два максимума простирания S_{Hmax} – субмеридиональный 10–20° и северо-восточный 30–50°. Поле сжатия в северо-восточном направлении, совпадающее по направлению с S_{Hmax} стресс-тензоров режима сдвига, может рассматриваться как часть парагенеза полей напряжений в крупных сдвиговых зонах. Что касается субмеридионального максимума S_{Hmax} для условий сжатия, то его можно связать с воздействием регионального сжатия, происхождение которого многими исследователями объясняется коллизионными процессами и конвергенцией Индостана и Евразии.

С целью сопоставления полученных результатов с современным напряженным состоянием на карте (см. рис. 4) приведены данные расчетов стресс-тензоров с использованием механизмов очагов землетрясений Монголо-Сибирского региона [Sankov, Parfeevets, 2005; Sankov et al., 2011; Parfeevets, Sankov, 2018]. Правомерность

такого сопоставления определяется тем, что расчеты современного напряженного состояния проводились с использованием того же подхода, что и расчеты палеонапряжений. Полученные стресс-тензоры характеризуют крупные неотектонические структуры, отличающиеся повышенной сейсмической активностью (западная, юго-западная и северная часть территории), или широкие области со слабопроявленной спорадической сейсмичностью (восточная часть территории). Результаты наших расчетов (см. рис. 4) не противоречат основным закономерностям современного поля напряжений, показанным в работах других авторов с использованием различных методов расчета характеристик напряженного состояния на основе использования данных о механизмах очагов землетрясений [Trifonov et al., 2002; Gol'din, Kuchai, 2007; Petit et al., 1996; Dzhurik, Dugarmaa, 2004; Radziminovich et al., 2016; и др.]. По типу напряженного состояния выделяются области сжатия на юго-западе и западе Монголии, транспрессии на северо-западе Монголии и в Туве, сдвига на юго-западном фланге БРС и на северо-западе Монголии, транстенсии и растяжения в Южно-Байкальской впадине. Направление максимального горизонтального сжатия варьируется от субмеридионального на западе территории до северо-восточного в центральной части и восточно-северо-восточного – в восточной.

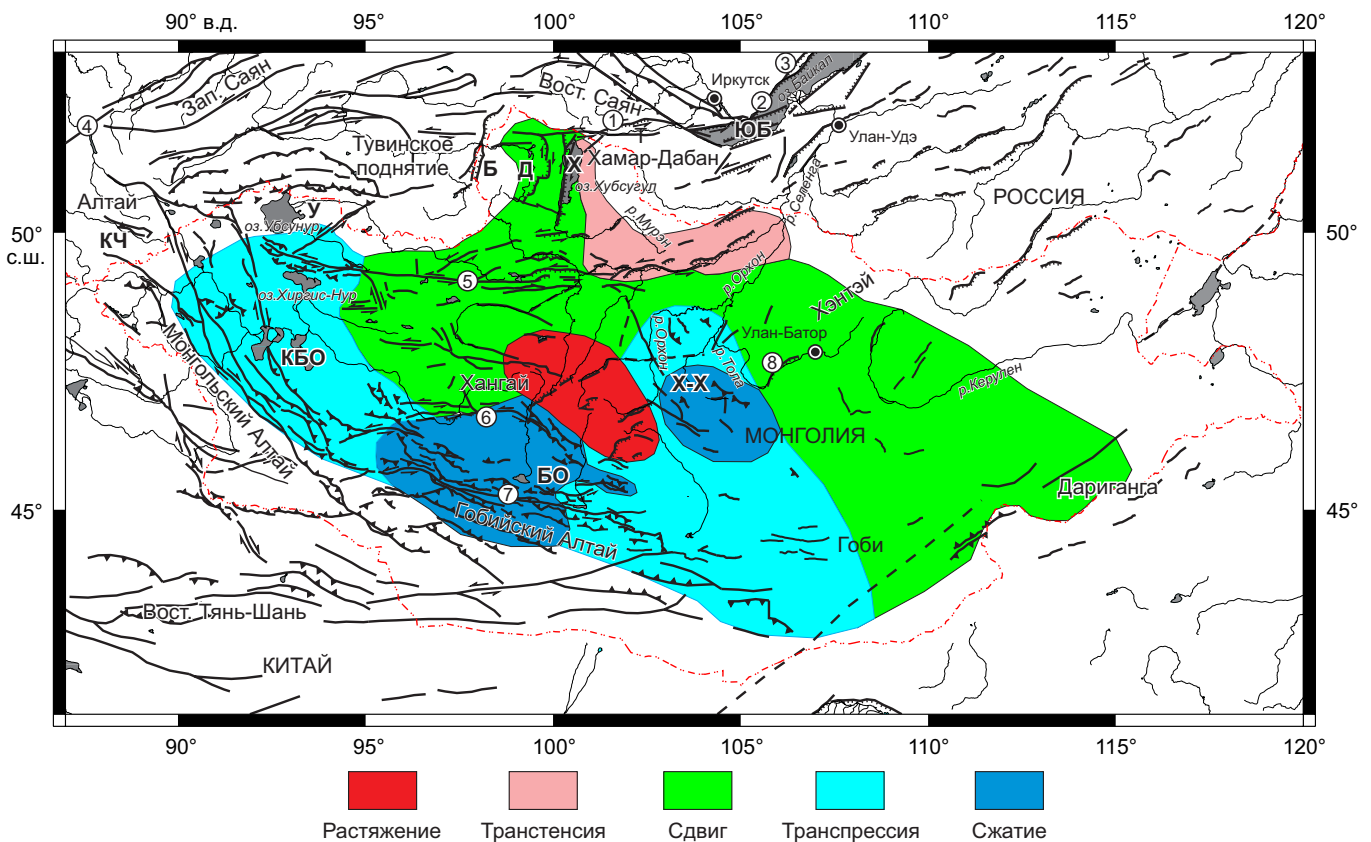


Рис. 6. Схема районирования позднекайнозойского напряженного состояния территории Монголии по геолого-структурным данным.

Fig. 6. Schematic map of Mongolia, showing domains differing in the Late Cenozoic stress state according to the reconstructions based on the geological and structural data.

Это соответствует тенденции, наблюдаемой для реконструкций палеонапряженного состояния. Что касается соотношения режимов современного и палеонапряженного состояния, то можно отметить тенденцию увеличения доли режимов сдвига, транспрессии и сжатия на современном этапе для центральной и северной части Монголии. По-видимому, это отражает эволюцию поля напряжений с постепенным увеличением роли сжатия во времени.

На рис. 6 представлена схема районирования позднекайнозойского напряженного состояния земной коры Монголии, составленная с учетом всего комплекса анализируемых данных – результатов реконструкций по геолого-структурным данным и, в меньшей степени, результатов расчетов современного напряженного состояния по сейсмологическим данным. В связи с этим мы считаем, что схема наиболее полно отражает районирование напряженного состояния за плиоцен-четвертичный этап развития. В целом, роль сжатия повышается с севера территории, где реконструированы условия сдвига и транспрессии, на юг, где преобладают условия транспрессии и сжатия. Наряду с региональными пространственными изменениями режимов напряженного состояния, наблюдается зависимость преобладающего типа поля напряжений от положения в структуре. Особенно наглядно структурный контроль проявлен для Северо-Хангайской сдвиговой зоны, в меньшей степени – для Долиноозерского левостороннего сдвига. Кроме того, в качестве примера структурного контроля напряженного состояния можно указать на приуроченность локальных областей растяжения к сводовым поднятиям – Хангайскому и Хэнтэйскому. При этом для Хангая растяжение сохраняется и на позднем этапе развития вплоть до голоцена [Parfeevets, Sankov, 2010, 2012], что и отражено на схеме (рис. 6), тогда как для Хэнтэйского поднятия условия растяжения относятся к ранней стадии неотектонического этапа развития, сменившегося условиями сдвига.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работы по изучению кайнозойского палеонапряженного состояния земной коры Монголии и окружающих территорий на основе геолого-структурных данных, начатые в 70–80-х годах XX в. и систематически проводимые с начала XXI в., позволили выявить ряд важных закономерностей, характерных для процесса деформирования внутриконтинентальных массивов. Несмотря на удаленность региона от границ крупных литосферных плит, наблюдается широкое разнообразие неотектонических деформаций, активизация и формирование разломов разных морфолого-генетических типов. В пределах Байкальской рифтовой системы наиболее ярко проявлены поля напряжений растяжения и транспрессии, что отмечено всеми исследователями. Существуют различные взгляды на эволюцию напряженного состояния земной коры рифтовой системы в кайнозой, однако во всех исследованиях подчеркивается увеличение роли режимов сдвига и сжатия в пределах

структур юго-западного фланга, включающего субширотную Тункинскую впадину и меридиональные рифтовые впадины Северной Монголии – Хубсугульскую, Дархатскую и Бусийнгольскую. Эти режимы играют ведущую роль в формировании и развитии структур Алтае-Саянской горной области, и интенсивность деформаций, связанных с процессом укорочения земной коры, возрастает во времени.

Для территории Монголии реконструкции локальных стресс-тензоров в зонах активных в кайнозой разломов, отнесенные к последнему этапу деформаций, весьма разнообразны. Анализ созданной нами базы данных из более чем 750 решений, с использованием технологии, реализованной в программных комплексах TENSOR [Delvaux, 1993] и WinTENSOR [Delvaux, 2012], позволил построить карту палеонапряженного состояния земной коры этой территории и выявить основные пространственно-временные закономерности. Установлено, что статистически преобладают режимы транспрессии, чистого сдвига и сжатия. Менее проявлены режимы растяжения и транспрессии. В целом, ориентация осей максимального горизонтального сжатия S_{Hmax} позднекайнозойского поля напряжений варьируется от субмеридиональной, преобладающей на западе Монголии, до северо-восточной и восточно-северо-восточной, которая появляется на востоке.

Важным и еще не до конца оцененным фактом является обнаруженное различие в простирации оси максимального сжатия для стресс-тензоров обобщенных режимов растяжения, сдвига и сжатия. В отличие от стресс-тензоров сдвига и растяжения, стресс-тензоры режима сжатия характеризуются двумя равнозначными максимумами простирации S_{Hmax} – северо-северо-восточным и северо-восточным. Возможно, первый максимум связан с регионально действующим полем сжатия, происхождение которого большинство исследователей связывает с коллизионными процессами и конвергенцией Индостана и Евразии, тогда как второй можно отнести к локальным полям сжатия, сопровождающим сдвиговые движения вдоль крупных разломов.

Проведенное сопоставление реконструкции палеонапряжений с результатами расчетов современного напряженного состояния земной коры с использованием данных о механизмах очагов землетрясений показало сходную тенденцию вариации направления максимального горизонтального сжатия от субмеридионального на западе Монголии до северо-восточного в центральной части и восточно-северо-восточного – в восточной. Отмечается тенденция увеличения доли режимов сдвига, транспрессии и сжатия на современном этапе для центральной и северной части Монголии, что отражает эволюцию поля напряжений с постепенным увеличением роли сжатия во времени.

Согласно схеме районирования позднекайнозойского напряженного состояния земной коры Монголии, составленной с учетом всего комплекса анализируемых данных, роль сжатия повышается с севера территории, где реконструированы условия сдвига и транспрессии,

на юг, где преобладают условия транспрессии и сжатия. Наряду с региональными пространственными изменениями режимов напряженного состояния, выявлен структурный контроль поля напряжений. Вдоль зон крупнейших широтных разломов, Северо-Хангайского и Долиноозерского, наблюдается закономерное изменение напряженного состояния и парагенезов разрывных структур, обусловленное левосторонней сдвиговой кинематикой дизъюнктивов. С проявлением структурного контроля поля тектонических напряжений связана приуроченность локальных областей растяжения к крупным сводовым поднятиям – Хангайскому и Хэнтэйскому.

Анализ последовательности проявления полей напряжений по типу и пространственным характеристикам позволил установить основные закономерности эволюции напряженно-деформированного состояния земной коры территории исследований во времени. Показано, что в раннем кайнозое (палеоген) были активизированы структуры северо-восточного простирания на юго-востоке Монголии в условиях субмеридионального и северо-западного сжатия [Parfeevets, Sankov, 2018]. В позднем кайнозое активность этого района существенно снизилась. В Монгольском и Гобийском Алтае активизация структур начиналась в миоцене – плиоцене в условиях субмеридионального и северо-восточного сжатия. В дальнейшем в плиоцене – плейстоцене деформации сжатия и транспрессии постепенно продвигались с юга на север к окраинам Сибирской платформы. Условия транспрессии и растяжения существовали на севере Монголии, в зоне влияния Байкальской рифтовой системы [Sankov et al., 2003, 2004], а также локально в Восточном Хангае [Parfeevets, Sankov, 2012] с плиоцена. Смена режима деформирования в Прихубсугулье, как и в пределах юга Хэнтэйского поднятия, происходила в плейстоцене – голоцене. На современном этапе в этих районах господствует режим сдвига [Sankov et al., 2003, 2004; Parfeevets, Sankov, 2006].

Геодинамическая интерпретация позднекайнозойской тектоники Монголии представляется возможной с позиций учета сочетания и взаимодействия сил сжатия, связанных с коллизией и конвергенцией Индостана и Евразии, сил растяжения, обусловленных дивергентными движениями Амурской и Евразийской плит за счет длительно существующего потока вещества астеносферы в направлении северо-запад – юго-восток, а также динамического воздействия локальных мантийных аномалий под Хангайским и Хэнтэйским сводовыми поднятиями [Sankov et al., 2011]. В начале же кайнозоя основным фактором формирования тектонических структур являлось взаимодействие восточной части Азии и Тихоокеанской плиты, структурные результаты которого проявились в юго-восточной части Монголии [Parfeevets, Sankov, 2018].

Дальнейшие систематические исследования кайнозойских деформаций в зонах неотектонических структур территории Монголии, применение новых методов

датировки деформаций позволят дать ответы на ряд не решенных в настоящее время вопросов, из которых наиболее важными являются:

- 1) оценка палеонапряженного состояния земной коры в западной и южной части Монголии, примыкающих к территории Китая;
- 2) выявление соотношений кайнозойских складчатых и разрывных деформаций;
- 3) реконструкция этапов эволюции напряженного состояния земной коры;
- 4) уточнение пространственно-временных соотношений деформаций от различных источников тектонических сил.

5. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института земной коры СО РАН к.г.-м.н. А.И. Мирошникову, к.ф.-м.н. А.А. Добрыниной, А.В. Санькову, Л.М. Бызову и ученым из Монголии академику С. Демберелу, доктору наук А. Баясгалану и Д. Баттогтоху за сотрудничество и участие в экспедиционных исследованиях на территории Монголии и Сибири. Авторы также благодарны к.г.-м.н. А.В. Черемных и к.г.-м.н. О.П. Смекалину за полезные советы по тексту статьи.

6. ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Arzhannikova A.V., Arzhannikov S.G., 2005. Neotectonic Deformation in the Southwestern Siberian Craton. *Russian Geology and Geophysics* 46 (3), 273–279 (in Russian) [Аржанникова А.В., Аржанников С.Г. Проявления новейших тектонических деформаций на юге Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 3. С. 273–279].
- Arzhannikova A.V., Arzhannikov S.G., Jolivet M., Chauvet A., Vassallo R., 2011a. Morphotectonic Analysis of Pliocene-Quaternary Deformations in the Southeast of the Eastern Sayan. *Geotectonics* 45 (2), 142–156. <https://doi.org/10.1134/S001685211101002X>.
- Arzhannikova A., Arzhannikov S., Jolivet M., Vassallo R., Chauvet A., 2011b. Pliocene to Quaternary Deformation in South East Sayan (Siberia): Initiation of the Tertiary Compressive Phase in the Southern Termination of the Baikal Rift System. *Journal of Asian Earth Sciences* 40 (2), 581–594. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.10.011>.
- Arzhannikova A., Larroque C., Ritz J.-F., Déverchère J., Stéphan J.F., Arzhannikov S., Sankov V., 2004. Geometry and Kinematics of Recent Deformation in the Mondy-Tunka Area (South-Westernmost Baikal Rift Zone, Mongolia-Siberia). *Terra Nova* 16 (55), 265–272. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2004.00565.x>.
- Arzhannikova A.V., Melnikova V.I., Radziminovich N.A., 2007. Late Quaternary and Current Deformation in the Western Tunka System of Basins: Evidence from Structural Geomorphology and Seismology. *Russian Geology and Geophysics* 48 (4) 305–311. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.03.001>.
- Badarch G., Cunningham W.D., Windley B.F., 2002. A New Subdivision for Mongolia: Implications for the Phanerozoic Crustal Growth of Central Asia. *Journal of Asian Earth*

Sciences 21 (1), 87–110. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00017-2](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00017-2).

Bayasgalan A., Jackson J.A., 1999. A Re-Assessment of the Faulting in the 1967 Mogod Earthquakes in Mongolia. *Geophysical Journal International* 138 (3), 784–800. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-246x.1999.00907.x>.

Bayasgalan A., Jackson J., Ritz J.-F., Carretier S., 1999. Field Examples of Strike-Slip Fault Terminations in Mongolia and Their Tectonic Significance. *Tectonics* 18 (3), 394–411. <http://dx.doi.org/10.1029/1999TC900007>.

Cheremnykh A.V., 2010. Internal Structures of Fault Zones in the Priolkhonie and Evolution of the State of Stresses of the Upper Crust of the Baikal Rift. *Geodynamics & Tectonophysics* 1 (3), 273–284 (in Russian) [Черемных А.В. Внутренняя структура разломных зон Приольхонья и эволюция напряженного состояния верхней коры Байкальского рифта // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. № 3. С. 273–284]. <https://doi.org/10.5800/GT-2010-1-3-0021>.

Cheremnykh A.V., 2015. Faults of the Central Baikal Region: Results of Structural-Paragenetic Analysis. *Bulletin of Saint Petersburg State University* 7 (2), 59–72 (in Russian) [Черемных А.В. Разломы Центрального Прибайкалья: результаты структурно-парагенетического анализа // Вестник СПбГУ. 2015. Сер. 7. Вып. 2. С. 59–72].

Cheremnykh A.V., 2018. Parageneses of Fractures in Large Fault Zones of West Transbaikalia. *Geodynamics & Tectonophysics* 9 (3), 889–908 (in Russian) [Черемных А.В. Парагенезы разрывов в крупных разломных зонах Западного Забайкалья // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9. №3. С. 889–908]. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0375>.

Cheremnykh A.V., Cheremnykh A.S., Bobrov A.A., 2018. Faults in the Baikal Region: Morphostructural and Structure-Genetic Features (Case Study of the Buguldeika Fault Junction). *Russian Geology and Geophysics*. 2018. Т. 59. № 9. С. 1100–1108. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.08.004>.

Cunningham D., 2013. Mountain Building Processes in Intracontinental Oblique Deformation Belts: Lessons from the Gobi Corridor, Central Asia. *Journal of Structural Geology* 46, 255–282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2012.08.010>.

Cunningham W.D., 2001. Cenozoic Normal Faulting and Regional Doming in the Southern Hangay Region, Central Mongolia: Implications for the Origin of the Baikal Rift Province. *Tectonophysics* 331 (4), 389–411. [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951\(00\)00228-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951(00)00228-6).

Cunningham W.D., Windley B.F., Dorjnamjaa D., Badamgarov J., Saandar M., 1996. Late Cenozoic Transpression in Southwestern Mongolia and the Gobi Altai – Tien Shan Connection. *Earth and Planetary Science Letters* 140 (1–4), 67–81. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(96\)00048-9](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(96)00048-9).

De Grave J., Buslov M.M., Van Den Haute P., 2007. Distal Effects of India-Eurasia Convergence and Mesozoic Intracontinental Deformation in Central Asia: Constraints from Apatite Fission-Track Thermochronology. *Journal of Asian Earth Sciences* 29 (2–3), 188–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2006.03.001>.

Dehandschutter B., Vysotsky E., Delvaux D., Klerkx J., Buslov M.M., Seleznev V.S., De Batiste M., 2002. Structural Evolution of the Teletsk Graben (Russian Altai). *Tectonophysics* 351, 139–167. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00129-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00129-4).

Delvaux D., 1993. The TENSOR Programm for Reconstruction: Examples from East African and the Baikal Rift Systems. *Terra Nova* 5 (Abstr. Suppl. 1), 216.

Delvaux D., 2012. Release of Program Win-Tensor 4.0 for Tectonic Stress Inversion: Statistical Expression of Stress Parameters. *Geophysical Research Abstracts* 14, EGU2012-5899. Available from: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2012/EGU2012-5899.pdf>.

Delvaux D., Cloetingh S., Beekman F., Sokoutis D., Burov E., Buslov M.M., Abdрахmatov K.E., 2013. Basin Evolution in a Folding Lithosphere: Altai-Sayan and Tien Shan Belts in Central Asia. *Tectonophysics* 602, 194–222. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.01.010>.

Delvaux D., Moyes R., Stapel G., Petit C., Levi K., Miroshnitchenko A., Ruzhich V., Sankov V., 1997. Paleostress Reconstruction and Geodynamics of the Baikal Region, Central Asia. Part II: Cenozoic Rifting. *Tectonophysics* 282, 1–38. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(97\)00210-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00210-2).

Delvaux D., Tenissen K., Van der Meyer R., Berzin N.A., 1995. Dynamics of Formation and Paleostress during the Formation of the Chuya-Kurai Depression in Gorny Altai: Tectonic and Climatic Control. *Russian Geology and Geophysics* 36 (10), 31–51 (in Russian) [Дельво Д., Тениссен К., Ван-дер-Мейер Р., Берзин Н.А. Динамика формирования и палеостресс при образовании Чуйско-Курайской депрессии Горного Алтая: тектонический и климатический контроль // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 10. С. 31–51].

Devyatkin E.V., 1981. Cenozoic of Inner Asia (Stratigraphy, Geochronology, Correlation). *Nauka, Moscow*, 196 p. (in Russian) [Девяткин Е.В. Кайнозой Внутренней Азии (стратиграфия, геохронология, корреляция). М.: Наука, 1981. 196 с.].

Dobretsov N.L., Ignatovich V.I. (Eds), 1989. *Geology and Ore Content of East Sayan Region*. *Nauka, Novosibirsk*, 127 p. (in Russian) [Геология и рудоносность Восточного Саяна / Ред. Н.Л. Добрецов, В.И. Игнатович. Новосибирск: Наука, 1989. 127 с.].

Dzhurik V.I., Dugarmaa T. (Eds), 2004. *Complex Geophysical and Seismological Investigations in Mongolia*. *Ulaanbaatar-Irkutsk: RCAG MAN*, 314 p.

Fedotov A., Sankov A., De Batist M., Kazansky A., Parfeevets A., Miroshnitchenko A., Pouls T., 2006. Chronology of the Baikal Rift System. *Eos* 87 (25), 246–250. <https://doi.org/10.1029/2006EO250005>.

Florensov N.A. (Ed.), 1974. *History of Relief Genesis in Siberia and Far East: Highlands of Pribaikalie and Zabaikalie*. *Nauka, Moscow*, 359 p. (in Russian) [История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока: Нагорья Прибайкалья и Забайкалья / Ред. Н.А. Флоренсов. М.: Наука, 1974. 359 с.].

Gol'din S.V., Kuchai O.A., 2007. Seismic Strain in the Altai-Sayan Active Seismic Area and Elements of Collisional

Geodynamics. Russian Geology and Geophysics 48 (7), 536–557. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2007.06.005>.

Gzovsky M.V., 1975. Fundamentals of Tectonophysics. Nauka, Moscow, 536 p. (in Russian) [Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.].

Jolivet M., De Boisgrollier T., Petit C., Fournier M., Sankov V.A., Ringenbach J.-C., Byzov L., Miroshnichenko A.I., Kovalenko S.N., Anisimova S.V., 2009. How Old Is the Baikal Rift Zone? Insight from Apatite Fission Track Thermochronology. Tectonics 28 (3). <http://dx.doi.org/10.1029/2008TC002404>.

Jolivet M., Ritz J.-F., Vassallo R., Larroque C., Braucher R., Todbileg M., Chauvet A., Sue C., Arnaud N., De Vicente R., Arzhanikova A., Arzhanikov S., 2007. Mongolian Summits: An Uplifted, Flat, Old but Still Preserved Erosion Surface. Geology 35 (10), 871–874. <http://dx.doi.org/10.1130/G23758A.1>.

Levi K.G., 2007. New Neotectonic Map of the Northeastern Sector of Asia. In: Geodynamic Evolution of the Lithosphere of the Central Asian Mobile Belt (From Ocean to Continent). Materials of the All-Russia Scientific Meeting (October 9–14, 2007). Vol. 1. Issue 5. IEC SB RAS, Irkutsk, p. 136–139 (in Russian) [Леви К.Г. Новая неотектоническая карта северо-восточного сектора Азии // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы Всероссийского научного совещания (9–14 октября 2007 г.). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. Т. 1. Вып. 5. С. 136–139].

Levi K.G., Miroshnichenko A.I., Parfeevets A.V., Sankov V.A., Lomborinchen R., Khosbayar P., 2004. Active Faults and Stress Field of Mongolia. In: V.I. Dzhurik, T. Dugarmaa (Eds), Complex Geophysical and Seismological Investigations in Mongolia. Ulaanbaatar–Irkutsk: RCAG MAN, 88–103.

Logatchev N.A., Zorin Yu.A., 1987. Evidence and Causes of the Two-Stage Development of the Baikal Rift. Tectonophysics 143 (1–3), 225–234. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(87\)90092-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(87)90092-8).

Lunina O.V., Gladkov A.S., 2004. Fault Structure of the Tunka Rift as a Reflection of Oblique Extension. Doklady Earth Sciences 398 (7), 928–930 (in Russian) [Лунина О.В., Гладков А.С. Разломная структура Тункинского рифта – отражение процесса косоугольного растяжения // Доклады АН. 2004. Т. 398. №4. С. 516–518].

Lunina O.V., Gladkov A.S., 2009. Fault-Block Structure and State of Stress in the Earth's Crust of the Gusinoozersky Basin and the Adjacent Territory, Western Transbaikal Region. Geotectonics 43 (1), 67–84. <https://doi.org/10.1134/S0016852109010051>.

Lunina O.V., Gladkov A.S., Nevedrova N.N., 2009. Rift Basins in Pribaikal'e: Tectonic Structure and Development History. GEO, Novosibirsk, 316 p. (in Russian) [Лунина О.В., Гладков А.С., Неведрова Н.Н. Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. Новосибирск: ГЕО, 2009. 316 с.].

Nikolaev P.N., 1977. Methods of Statistical Analysis of Fractures and Reconstruction of Tectonic Stresses. Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration 12, 103–115 (in Russian) [Николаев П.Н.

Методика статистического анализа трещин и реконструкция полей напряжений // Известия вузов. Геология и разведка. 1977. № 12. С. 103–115].

Nikolaeva T.V., Shuvalov V.F., 1969. The Main Stages of Sedimentation and Relief Development in Central Mongolia in the Mesozoic and Cenozoic. Bulletin of Leningrad State University 18 (3), 17–21 (in Russian) [Николаева Т.В., Шувалов В.Ф. Основные этапы осадконакопления и развития рельефа Центральной Монголии в мезозое и кайнозое // Вестник ЛГУ. 1969. № 18. Вып. 3. С. 17–21].

Parfeevets A.V., Sankov V.A., 2006. Stress State of the Crust and Geodynamics of the Southwestern Part of the Baikal Rift System. GEO, Novosibirsk, 151 p. (in Russian) [Парфеевец А.В., Саньков В.А. Напряженное состояние земной коры и геодинамика юго-западной части Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: ГЕО, 2006. 151 с.].

Parfeevets A.V., Sankov V.A., 2009. Active Faulting and Crustal Stress State in the Transition Zone from Riftogenic to Strike-Slip Structures (Northern Mongolia). In: Faulting and Seismicity in the Lithosphere: Tectonophysical Concepts and Consequences. Proceedings of the All-Russia Meeting (August 18–21, 2009). Vol. 2. Irkutsk, p. 110–112 (in Russian) [Парфеевец А.В., Саньков В.А. Активное разломообразование и напряженное состояние земной коры в переходной зоне от рифтогенных к сдвиговым структурам (Северная Монголия) // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия: Материалы Всероссийского совещания (18–21 августа 2009 г.). Иркутск, 2009. Т. 2. С. 110–112].

Parfeevets A.V., Sankov V.A., 2010. Late Cenozoic Fields of the Tectonic Stresses in Western and Central Mongolia. Izvestiya, Physics of the Solid Earth 46 (5), 367–378. <https://doi.org/10.1134/S1069351310050010>.

Parfeevets A.V., Sankov V.A., 2012. Late Cenozoic Tectonic Stress Fields of the Mongolian Microplate. Comptes Rendus Geoscience 344 (3–4), 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2011.09.009>.

Parfeevets A.V., Sankov V.A., 2013. Paragenesis of Late Cenozoic Structures and the Tectonic Stress Field in the Zone of the North Khangai Strike-Slip Fault (Northern Mongolia). In: Continental Rifting and Accompanying Processes. Proceedings of the Second All-Russia Symposium with International Participation, and Youth Scientific School Dedicated to the Memory of Academicians N.A. Logachev and E.E. Milanovsky (August 20–23, 2013). Vol. 1. Irkutsk, p. 12–16 (in Russian) [Парфеевец А.В., Саньков В.А. Парагенез позднекайнозойских структур и поле тектонических напряжений в зоне Северо-Хангайского сдвига (Северная Монголия) // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы: Материалы Второго Всероссийского симпозиума с международным участием и молодежной научной школы, посвященных памяти академиков Н.А. Логачева и Е.Е. Милановского (20–23 августа 2013 г.). Иркутск, 2013. Т. 1. С. 12–16].

Parfeevets A.V., Sankov V.A., 2018. Geodynamic Conditions for Cenozoic Activation of Tectonic Structures in South-eastern Mongolia. Geodynamics & Tectonophysics 9 (3),

855–888 (in Russian) [Парфеевец А.В., Саньков В.А. Геодинамические условия кайнозойской активизации тектонических структур Юго-Восточной Монголии // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9. № 3. С. 855–888]. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0374>.

Parfeevets A.V., Sankov V.A., Demberel S., 2016. Active Faults in the Basin of the Selenga, Orkhon and Tola Rivers (Northern Mongolia). *Geography and Natural Resources* 6, 86–92 (in Russian) [Парфеевец А.В., Саньков В.А., Дэмбэрэл С. Активные разломы бассейна рек Селенга, Орхон и Тола (Северная Монголия) // География и природные ресурсы. 2016. № 6. С. 86–92]. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6\(86-92\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(86-92)).

Parfeevets A.V., Sankov V.A., Miroshnichenko A.I., Likhnev A.V., 2002. Evolution of the Crustal Stress State of the Mongolia–Baikal Mobile Belt. *Russian Journal of Pacific Geology* 21 (1), 14–28 (in Russian) [Парфеевец А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Лихнев А.В. Эволюция напряженного состояния земной коры Монголо-Байкальского подвижного пояса // Тихоокеанская геология. 2002. Т. 21. № 1. С. 14–28].

Petit C., Déverchère J., Houdry F., Sankov V.A., Melnikov V.I., Delvaux D., 1996. Present-Day Stress Field Changes along the Baikal Rift and Tectonic Implication. *Tectonics* 15 (6), 1171–1191. <http://dx.doi.org/10.1029/96TC00624>.

Radziminovich N.A., Bayar G., Miroshnichenko A.I., Demberel S., Ulziibat M., Ganzorig D., Likhnev A.V., 2016. Focal Mechanisms of Earthquakes and Stress Field of the Crust in Mongolia and Its Surroundings. *Geodynamics & Tectonophysics* 7 (1), 23–38 (in Russian) [Радзиминович Н.А., Баяр Г., Мирошниченко А.И., Дэмбэрэл С., Ульзибат М., Ганзориг Д., Лихнев А.В. Механизмы очагов землетрясений и поле напряжений Монголии и прилегающих территорий // Геодинамика и тектонофизика. 2016. Т. 7. № 1. С. 23–38]. <https://doi.org/10.5800/GT-2016-7-1-0195>.

Rasskazov S.V., 1993. Magmatism of the Baikal Rift System. Nauka, Novosibirsk, 288 p. (in Russian) [Расказов С.В. Магматизм Байкальской рифтовой системы. Новосибирск: Наука, 1993. 288 с.].

Ritz J.-F., Bourlès D., Brown E.T., Carretier S., Chéry J., Enhtuvshin B., Galsan P., Finkel R.C., Hanks T.C., Kendrick K.J., Philip H., Raisbeck G., Schlupp A., Schwartz D.P., Yiou F., 2003. Late Pleistocene to Holocene Slip Rates for the Gurvan Bulag Thrust Fault (Gobi-Altay, Mongolia) Estimated with ¹⁰Be Dates. *Journal of Geophysical Research* 108 (B3). <http://dx.doi.org/10.1029/2001JB000553>.

Rizza M., Ritz J.-F., Prentice C., Vassallo R., Braucher R., Larroque C., Arzhannikova A., Arzhannikov S., Mahan S., Massault M., Michelot J.-L., Todbileg M., ASTER Team, 2015. Earthquake Geology of the Bulnay Fault (Mongolia). *Bulletin of the Seismological Society of America* 105 (1), 72–93. <http://dx.doi.org/10.1785/0120140119>.

Ruzhich V.V., 1972. On the Dynamics of Tectonic Development of Pribaikalie in the Cenozoic. *Russian Geology and Geophysics* 4, 122–126 (in Russian) [Ружич В.В. О динамике тектонического развития Прибайкалья в кайнозое // Геология и геофизика. 1972. № 4. С. 122–126].

Ruzhich V.V., 1978. On the Combination of Extension and Compression Stresses in the Baikal Rift. In: N.A. Logachev (Ed.), *Tectonics and Seismicity of Continental Rift Zones*. Nauka, Moscow, p. 27–32 (in Russian) [Ружич В.В. О сочетании напряжений растяжения и сжатия в Байкальском рифте // Тектоника и сейсмичность континентальных рифтовых зон / Ред. Н.А. Логачев. М.: Наука, 1978. С. 27–32].

Ruzhich V.V., Khilko S.A., 1985. Some Problems of the Modern and Present-Day Geodynamics of the Khubsugul Region. *Proceedings of the International Conference on the Results of the Soviet–Mongolian Complex Khubsugul Expedition*. Irkutsk, p. 20–21 (in Russian) [Ружич В.В., Хилько С.А. Некоторые вопросы новейшей и современной геодинамики Прихубсугуля // Труды Международной конференции по результатам работы Советско-Монгольской комплексной Хубсугульской экспедиции. Иркутск, 1985. С. 20–21].

Ruzhich V.V., Sherman S.I., Tarasevich S.I., 1972. New Data on Thrust Faults in the Southwestern Part of the Baikal Rift Zone. *Doklady of the USSR Academy of Sciences* 205 (4), 920–923 (in Russian) [Ружич В.В., Шерман С.И., Тарасевич С.И. Новые данные о надвигах в юго-западной части Байкальской рифтовой зоны // Доклады АН СССР. 1972. Т. 205. № 4. С. 920–923].

Ryazanov G.V., 1978. Stress Field and Conditions for the Formation of Structures in the Southwestern Flank of the Baikal Rift Zone. *Doklady of the USSR Academy of Sciences* 243 (1), 183–186 (in Russian) [Рязанов Г.В. Поле напряжений и условия формирования структур юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны // Доклады АН СССР. 1978. Т. 243. № 1. С. 183–186].

Sankov V.A., Dneprovsky Yu.I., Kovalenko S.N., Bornyakov S.A., Gileva N.G., Gorbunova N.G., 1991. Faults and Seismicity of the Northern Muya Geodynamic Polygon. Nauka, Novosibirsk, 111 p. (in Russian) [Саньков В.А., Днепровский Ю.И., Коваленко С.Н., Борняков С.А., Гилева Н.Г., Горбунова Н.Г. Разломы и сейсмичность Северо-Муйского геодинамического полигона. Новосибирск: Наука, 1991. 111 с.].

Sankov V.A., Miroshnichenko A.I., Levi K.G., Likhnev A.V., Delvaux D., 1996. Reconstruction of the Stages of Development of the Stress State of the Earth's Crust of the Baikal Rift. *Geophysical Research in Eastern Siberia at the Turn of the XXI Century*. Nauka, Novosibirsk, 126–132 (in Russian) [Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Леви К.Г., Лихнев А.В., Дельво Д. Реконструкции этапов развития напряженного состояния земной коры Байкальского рифта // Геофизические исследования в Восточной Сибири на рубеже XXI века. Новосибирск: Наука, 1996. С. 126–132].

Sankov V.A., Miroshnichenko A.I., Levi K.G., Likhnev A.V., Melnikov A.I., Delvaux D., 1997. Cenozoic Tectonic Stress Field Evolution in the Baikal Rift Zone. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine* 21 (2), 435–455.

Sankov V.A., Miroshnichenko A.I., Parfeevets A.V., Arzhannikova A.V., 2003. New Data on Late Cenozoic Tectonic

Stress Fields in the Khubsugul Region, Mongolia. *Doklady Earth Sciences* 388 (4), 526–529 (in Russian) [Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Парфеев А.В., Аржанникова А.В. Новые данные о позднекайнозойских полях напряжений тектонических напряжений Прихубсугуля (Монголия) // Доклады РАН. 2003. Т. 388. № 4. С. 526–529].

Sankov V.A., Miroshnichenko A.I., Parfeevets A.V., Arzhannikova A.V., Likhnev A.V., 2004. Late Cenozoic State of Stress in the Earth's Crust of the Khubsugul Region (Northern Mongolia): Field and Experimental Evidence. *Geotectonics* 2, 78–90 (in Russian) [Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Парфеев А.В., Аржанникова А.В., Лихнев А.В. Позднекайнозойское напряженное состояние земной коры Прихубсугуля (Северная Монголия) по натурным и экспериментальным данным // Геотектоника. 2004. № 2. С. 78–90].

Sankov V.A., Parfeevets A.V., 2005. Late Cenozoic Stressed State of Active Fault Zones in Western Mongolia and Tuva. *Doklady Earth Sciences* 403 (6), 852–855.

Sankov V.A., Parfeevets A.V., Likhnev A.V., Miroshnichenko A.I., Ashurkov S.V., 2011. Late Cenozoic Geodynamics and Mechanical Coupling of Crustal and Upper Mantle Deformations in the Mongolia-Siberia Mobile Area. *Geotectonics* 45, 378. <http://dx.doi.org/10.1134/S0016852111050049>.

Sankov V.A., Parfeevets A.V., Miroshnichenko A.I., Sankov A.V., 2017. Active Faults and the Late Cenozoic Stress State of the Central Mongolia. In: D.P. Gladkochub (Ed.), *Hazardous Geological Processes and Forecasting of Natural Emergencies in the Territory of Central Mongolia*. ISU Publishing House, Irkutsk, p. 104–129 (in Russian) [Саньков В.А., Парфеев А.В., Мирошниченко А.И., Саньков А.В. Активные разломы и позднекайнозойское напряженное состояние центральной части Монголии // Опасные геологические процессы и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Центральной Монголии / Ред. Д.П. Гладкохуб. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2017. С. 104–129].

Sankov V.A., Parfeevets A.V., Miroshnichenko A.I., Sankov A.V., Bayasgalan A., Battogtokh D., 2015. Active Faults Paragenesis and the State of Crustal Stresses in the Late Cenozoic in Central Mongolia. *Geodynamics & Tectonophysics* 6 (4), 491–518 (in Russian) [Саньков В.А., Парфеев А.В., Мирошниченко А.И., Саньков А.В., Баясгалан А., Баттогтох Д. Парагенез активных разломов и позднекайнозойское напряженное состояние земной коры центральной части Монголии // Геодинамика и тектонофизика. 2015. Т. 6. № 4. С. 491–518]. <http://dx.doi.org/10.5800/GT-2015-6-4-0191>.

Seminsky K.Zh., 1994. Principles and Stages of Special Mapping of the Fault-Block Structure on the Basis of Fracturing Studies. *Russian Geology and Geophysics* 9, 112–130 (in Russian) [Семинский К.Ж. Принципы и этапы спецкартирования разломно-блоковой структуры на основе изучения трещиноватости // Геология и геофизика. 1994. № 9. С. 112–130].

Seminsky K.Zh., 2003. Internal Structure of Continental Fault Zones. *Tectonophysical Aspect*. GEO, Novosibirsk, 244 p. (in Russian) [Семинский К.Ж. Внутренняя структура

континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: ГЕО, 2003. 244 с.].

Seminsky K.Zh., Cheremnykh A.V., 2011. Jointing Patterns and Stress Tensors in Cenozoic Sediments of the Baikal Rift: Development of the Structural-Genetic Approach. *Russian Geology and Geophysics* 52 (3), 450–469 (in Russian) [Семинский К.Ж., Черемных А.В. Трещинные сети и напряженное состояние кайнозойских осадков Байкальского рифта: новые возможности структурно-парагенетического анализа // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 3. С. 450–469].

Seminsky K.Zh., Demberel S., Bobrov A.A., Burzunova Yu.P., Mongonsuren D., Ulziybat M., Ganzorig D., 2017. Assessment of the Current Activity of Faults in Central Mongolia on the Basis of the Tectonophysical Analysis of Emanation, Seismological, Geological and Structural Data. In: D.P. Gladkochub (Ed.), *Hazardous Geological Processes and Forecasting of Natural Emergencies in the Territory of Central Mongolia*. ISU Publishing House, Irkutsk, p. 155–209 (in Russian) [Семинский К.Ж., Дэмбэрэл С., Бобров А.А., Бурзунова Ю.П., Монгонсурэн Д., Улзийбат М., Ганзориг Д. Оценка современной активности разломов Центральной Монголии на основе тектонофизического анализа эманационных, сейсмологических и геолого-структурных данных // Опасные геологические процессы и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Центральной Монголии / Ред. Д.П. Гладкохуб. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2017. С. 155–209].

Seminsky K.Zh., Kozhevnikov N.O., Cheremnykh A.V., Pospreeva E.V., Bobrov A.A., Olenchenko V.V., Tugarina M.A., Potapov V.V., Burzunova Yu.P., 2012. Interblock Zones of the Northwestern Baikal Rift: Results of Geological and Geophysical Studies along the Bayandai Village – Cape Krestovskii Profile. *Russian Geology and Geophysics* 53 (2), 250–269 (in Russian) [Семинский К.Ж., Кожевников Н.О., Черемных А.В., Поспеева Е.В., Бобров А.А., Оленченко В.В., Тугарина М.А., Потапов В.В., Бурзунова Ю.П. Межблоковые зоны северо-западного плеча Байкальского рифта: результаты геолого-геофизических исследований по профилю пос. Баяндай – м. Крестовский // Геология и геофизика, 2012. Т. 53. № 2. С. 250–269].

Seminsky K.Zh., Kozhevnikov N.O., Cheremnykh A.V., Pospreeva E.V., Bobrov A.A., Olenchenko V.V., Tugarina M.A., Potapov V.V., Zaripov R.M., Cheremnykh A.S., 2013. Baikal Rift in the Zone-Block Structure of the Lithosphere of Central Asia. In: *Continental Rifting and Accompanying Processes. Proceedings of the Second All-Russia Symposium with International Participation, and Youth Scientific School Dedicated to the Memory of Academicians N.A. Logachev and E.E. Milanovsky (August 20–23, 2013)*. Vol. 1. Irkutsk, p. 64–69 (in Russian) [Семинский К.Ж., Кожевников Н.О., Черемных А.В., Поспеева Е.В., Бобров А.А., Оленченко В.В., Тугарина М.А., Потапов В.В., Зарипов Р.М., Черемных А.С. Байкальский рифт в зонно-блоковой структуре литосферы Центральной Азии // Континентальный рифтогенез и сопутствующие процессы: Материалы Второго Всероссийского симпозиума с международным участием и молодежной научной школы, посвященных памяти

академиков Н.А. Логачева и Е.Е. Милановского (20–23 августа 2013 г.). Иркутск, 2013. Т. 1. С. 64–69].

Sherman S.I., Dneprovsky Yu.I., 1986. New Map of Stress Fields of the Baikal Rift Zone Based on Geological and Structural Data. *Doklady of the USSR Academy of Sciences* 287 (4), 943–947 (in Russian) [Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Новая карта полей напряжений Байкальской рифтовой зоны по геолого-структурным данным // Доклады АН СССР. 1986. Т. 287. № 4. С. 943–947].

Sherman S.I., Dneprovsky Yu.I., 1989. Stress Fields of the Earth's Crust and Geological and Structural Methods for Their Study. Nauka, Novosibirsk, 158 p. (in Russian) [Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. Новосибирск: Наука, 1989. 158 с.].

Sherman S.I., Medvedev M.E., Ruzhich V.V., Kiselev A.I., Shmotov A.P., 1973. Tectonics and Volcanism in the Southwestern Part of the Baikal Rift Zone. Nauka, Novosibirsk, 134 p. (in Russian) [Шерман С.И., Медведев М.Е., Ружич В.В., Киселев А.И., Шмотов А.П. Тектоника и вулканизм юго-западной части Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1973. 134 с.].

Smekalin O.P., Imaev V.S., Chipizubov A.V., 2013. Paleoseismic Studies of the Hustai Fault Zone (Northern Mongolia). *Russian Geology and Geophysics* 54 (7), 724–733. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2013.06.007>.

Solonenko V.P., Florensov N.A. (Eds), 1985. Earthquakes and Fundamentals of Seismic Risk Zoning of Mongolia. Nauka, Moscow, 224 p. (in Russian) [Землетрясения и основы

сейсмического районирования Монголии / Ред. В.П. Солоненко, Н.А. Флоренсов. М.: Наука, 1985. 224 с.].

Trifonov V.G., Makarov V.I., 1988. Active Faults. In: P.N. Kropotkin (Ed.), *Neotectonics and Modern Geodynamics of Mobile Belts*. Nauka, Moscow, 239–272 (in Russian) [Трифонов В.Г., Макаров В.И. Активные разломы // Неотектоника и современная геодинамика подвижных поясов / Ред. П.Н. Кропоткин. М.: Наука, 1988. С. 239–272].

Trifonov V.G., Soboleva O.V., Trifonov S.V., Vostrikov G.A., 2002. *Modern Geodynamics of Alpine-Himalayan Collision Belt*. GEOS, Moscow, 225 p. (in Russian) [Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизийного пояса. М.: ГЕОС, 2002. 225 с.].

Walker R.T., Molor E., Fox M., Bayasgalan A., 2008. Active Tectonics of an Apparently Aseismic Region: Distributed Active Strike-Slip Faulting in the Hangay Mountains of Central Mongolia. *Geophysical Journal International* 174 (3), 1121–1137. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03874.x>.

Walker R.T., Nissen E., Molor E., Bayasgalan A., 2007. Reinterpretation of the Active Faulting in Central Mongolia. *Geology* 35 (8), 759–762. <http://dx.doi.org/10.1130/G23716A.1>.

Yanshin A.L. (Ed.), 1975. *Mesozoic and Cenozoic Tectonics and Magmatism of Mongolia*. Proceedings of the Joint Soviet-Mongolian Geological Expedition. Iss. 11. Nauka, Moscow, 308 p. (in Russian) [Мезозойская и кайнозойская тектоника и магматизм Монголии: Труды Совместной советско-монгольской геологической экспедиции / Ред. А.Л. Яншин. М.: Наука, 1975. Вып. 11. 308 с.].