РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИРКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ

АКАДЕМИЯ НАУК МОНГОЛИИ
ИНСТИТУТ АСТРОНОМИИ И ГЕОФИЗИКИ

ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ

Ответственный редактор
чл.-корр. РАН Д. П. Гладкочуб

ИРКУТСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИГУ
2017

УДК 26.21(5Мо)
ББК 550.343.6(517.3)
О-60

Утверждено к печати Ученым советом Института земной коры СО РАН

Издание осуществлено при финансовой поддержке интеграционной программы ИНЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей (0341-2015-0001)».

Рецензенты:
д-р геол.-минерал. наук *А. М. Мазукабзов*
д-р геол.-минерал. наук *Р. М. Семёнов*
канд. геол.-минерал. наук *А. В. Черемных*

Авторский коллектив:
Семинский К. Ж., Леви К. Г., Джурик В. И., Козырева Е. А., Саньков В. А., Турутанов Е. Х., Дэмбэрэл С., Арвисбаатар Н., Ашурков С. В., Батсайхан Ц., Баяр Г., Бобров А. А., Брыжак Е. В.,Бурзунова Ю. П., Буянтогтох Б., Воронин В. И., Ганзориг Д., Горбунова Е. А., Демьянович В. М., Ескин А. Ю., Имаев В. С., Ключевский А. В., Кобелев М. М., Кобелева Е. А., Кожевников В. М., Левина Е. А., Лухнев А. В., Лухнева О. Ф., Мельникова В. И., Мирошниченко А. И., Монгонсурэн Д., Мордвинова В. В., Парфеевец А. В., Радзиминович Н. А., Ружич В. В., Рыбченко А. А., Саньков А. В., Серебренников С. П., Середкина А. И., Смекалин О. П., Соловей О. А., Улзийбат М., Хритова М. А., Чипизубов А. В., Шерман С. И., Эрдэнэзул Д.

О-60 **Опасные** геологические процессы и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Центральной Монголии / отв. ред.: Д. П. Гладкочуб ; Иркут. науч. центр СО РАН ; Ин-т земной коры СО РАН. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2017. – 332 с.
ISBN 978-5-9624-1540-6

В книге представлены научные результаты, полученные в течение нескольких последних лет для Центральной Монголии российскими и монгольскими специалистами в ходе исследований сейсмотектонических и инженерно-геологических процессов с акцентом на характеристике их опасности для территории Улаанбаатарской агломерации. Рассмотрены особенности глубинного строения Монголии, результаты комплексного изучения активных разломов в ее центральной части, сейсмогеологические данные по крупным сейсмоструктурам в окрестностях Улаанбаатара, опыт районирования сейсмической опасности на территории монгольской столицы и других промышленных центров страны, а также инженерно-геологические материалы о проявлении опасных экзогенных процессов в пределах Улаанбаатарской агломерации.

Книга будет полезна для специалистов в области современной геодинамики, геофизики, инженерной геологии и геоэкологии, занимающихся общими проблемами динамики опасных эндо- и экзогенных процессов в Байкало-Монгольском регионе, а также конкретными вопросами прогноза и районирования сейсмической, радоновой и других опасностей на территориях городов и промышленных объектов Центральной Монголии.

УДК 26.21(5Мо)
ББК 550.343.6(517.3)

ISBN 978-5-9624-1540-6

© Иркутский научный центр СО РАН, 2017
© Институт земной коры СО РАН, 2017

Оглавление

Предисловие 11

Введение *(К. Ж. Семинский, С. Дэмбэрэл)* 15

Глава 1. Глубинное строение и сейсмичность Монголии по комплексу геофизических данных 20

1.1. Глубинное строение и анизотропные свойства верхней мантии Монголии по данным о дисперсии волн Рэлея и Лява (*А. И. Середкина, В. М. Кожевников, О. А. Соловей*) 20

1.2. Скоростное строение и азимутальная анизотропия земной коры и верхней мантии Монголии по данным объемных волн (*В. В. Мордвинова, М. Улзийбат, М. М. Кобелев, М. А. Хритова, Е. А. Кобелева, Ц. Батсайхан*) 29

1.3. Крупные плотностные неоднородности земной коры Улаанбаатарского полигона (Центральная Монголия) по гравиметрическим данным (*Е. Х. Турутанов, Н. Арвисбаатар, Б. Буянтогтох*) 40

1.4. Сейсмичность, механизмы очагов землетрясений и напряженно-деформированное состояние земной коры Центральной Монголии (*Н. А. Радзиминович, Г. Баяр, М. Улзийбат, Д. Ганзориг, С. Дэмбэрэл*) 53

1.5. Параметры сейсмотектонических деформаций земной коры Монголии по данным о механизмах очагов землетрясений (*В. И. Мельникова, А. И. Середкина*) 61

1.6. Комплексный анализ сейсмичности и сильных землетрясений территории Монголии (*А. В. Ключевский, В. М. Демьянович, С. Дэмбэрэл, Г. Баяр*) 68

Глава 2. Разломы Центральной Монголии и их активность на современном этапе тектогенеза по геолого-структурным, эманационным, сейсмологическим и GPS-геодезическим данным 94

2.1. Современные движения земной коры Монголии по данным GPS-геодезии (*А. В. Лухнев, А. И. Мирошниченко, В. А. Саньков, С. В. Ашурков, С. Дэмбэрэл, Д. Эрдэнэзул*) 94

2.2. Активные разломы и позднекайнозойское напряженное состояние земной коры центральной части Монголии (*В. А. Саньков, А. В. Парфеевец, А. И. Мирошниченко, А. В. Саньков*) 105

2.2.1. Характеристика района, задачи и методы исследования активных разломов 105

2.2.2. Активные разломы и поле тектонических напряжений Хангай-Хэнтэйской тектонической седловины 108

2.2.3. Активные разломы и поле тектонических напряжений Бургутского блока (Орхон-Тольское междуречье) 117

2.2.4. Активные разломы и поле тектонических напряжений поднятия Бурэн-Нуруу и Селенгинской депрессии 119

Глава 2

Разломы Центральной Монголии и их активность на современном этапе тектогенеза по геолого-структурным, эманационным, сейсмологическим и GPS-геодезическим данным

Глава посвящена комплексному исследованию разломов Центральной Монголии с акцентом на окрестности Улаанбаатара, поскольку именно эти тектонические структуры в плане активизации природных опасностей являются их прямым (сейсмичность) или косвенным (экзогенные процессы) источником. Описанию результатов изучения разломной тектоники предшествует раздел, в котором по данным GPS-геодезии представлены основные закономерности современных движений земной коры Монголии, реализующихся, в частности, посредством перемещений по сети разломных структур. Во втором разделе рассмотрены результаты изучения активных разломов геолого-структурными методами, позволившие для территории Центральной Монголии реконструировать позднекайнозойские поля напряжений, определить их взаимоотношения с современным напряженным состоянием, охарактеризовать источники тектонических сил и установить структурную выраженность в пределах изученного региона западной границы Амурской тектонической плиты. В третьем разделе главы представлена оценка современной активности разломов Центральной Монголии на основе тектонофизического анализа геолого-структурных, эманационных и сейсмологических данных. Завершают главу два раздела, в рамках которых предложены новые способы исследования сейсмогеологических процессов и оценки сейсмической опасности разломов в Байкало-Монгольском регионе.

2.1. Современные движения земной коры Монголии по данным GPS-геодезии

При решении фундаментальных проблем современной геодинамики регионов и исследовании деформационных процессов широко используются материалы GPS-геодезии, позволяющие определить относительные скорости устойчивого движения жестких блоков земной коры. В практическом плане материалы GPS-геодезии привлекаются для оценки экологических, социальных и экономических рисков развития крупных городов и районов техногенного освоения территорий с интенсивной добычей полезных ископаемых, там, где необходимо иметь информацию о величинах и типах современных тектонических деформаций земной коры и ее поверхности. Мониторинг деформаций земной поверхности с использованием спутниковой геодезии является одним из наиболее эффективных методов

исследования быстрых деформационных процессов, связанных с землетрясениями, оползнями и другими проявлениями современной геодинамики, в том числе и катастрофическими.

Анализ GPS-данных применяется для определения скорости деформации разномасштабных тектонических структур, установления скорости и типа современных подвижек по разломам, описания кинематических особенностей микро- и макроблоков, выделяемых в пределах изучаемой территории. Результаты GPS-измерений используются для обоснования теоретических и модельных построений, имеющих целью определение основных закономерностей деформационных процессов и механизмов деформирования земной коры и литосферы.

Развитие GPS-наблюдений в рассматриваемом регионе началось в 1994 г. Совместными усилиями сотрудников ИЗК СО РАН и CNRS (Франция, GeoScience Azur) в южной части Прибайкалья и в Тункинском районе были установлены 11 GPS-пунктов. С 1997 г. к этим работам присоединились монгольские исследователи, и полигон был значительно расширен за счет пунктов в северной и западной Монголии. Первая статья с результатами вышла уже в 1998 г. [GPS measurements of crustal … , 1998]. В ней были приведены оценки раскрытия Байкальского рифта, составляющие 4,5±1,2 мм/год в СЗ–ЮВ направлении.

В последующих публикациях [Растяжение в Байкальском рифте … , 2009] на основе более длительного периода измерений эти данные были уточнены. Азимут векторов смещения в Байкальском рифте находится в достаточно узком диапазоне (≈130°), величины скорости составляют 3,4±0,7 мм/год при горизонтальной ошибке 0,51–0,59 мм/год. Скорость относительной деформации удлинения в Байкальской впадине оценена в $2{,}1 \cdot 10^{-8}$ год$^{-1}$. Первые результаты по Монголии были основаны на использовании данных постоянного пункта измерений в Улаанбаатаре [Calais, Amarjargal, 2000]. Скорость движения Амурского (Северо-Китайского) блока в восток-юго-восточном направлении оказалась в 3–6 раз выше, чем предполагалось, исходя из соображения, что вся деформация Центральной Азии обусловлена только лишь эффектом от Индо-Азиатской коллизии. Результаты геодезических измерений в Байкало-Монгольском регионе за 1994–2002 гг., совмещенные с данными по Китаю [GPS measurements of crustal … , 2003], позволили установить различие деформационных режимов на территории Монголии западнее и восточнее меридиана 96 °N (рис. 2.1.1).

В западной Монголии векторы скоростей ориентированы в направлении Ю–С, их величина закономерно уменьшается от 10 (Урумчи, Китай) до 4 в Алтае и до 0 мм/год в районе Сибирской платформы. В Центральной и восточной Монголии векторы скоростей направлены на восток и юго-восток. Эти движения аккомодируются левосторонним смещением по широтным Тункинскому, Болнайскому, и Гоби-Алтайскому разломам и раскрытием Байкальской рифтовой зоны.

На основании исходных данных (векторов смещений) была рассчитана скорость деформации литосферы Центральной Азии [Continental deformation … , 2006]. Наибольшие значения (превышающие $3 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$) оказались приурочены к Тибету, Гималаям, Памиру, Тянь-Шаню, Алтаю и Гобийскому Алтаю, показывая укорочение перпендикулярно этим структурам (рис. 2.1.2). Также значимо оказалось растяжение в Байкальском рифте и в районе Хубсугульской, Дархатской и Бусийнгольской впадин.

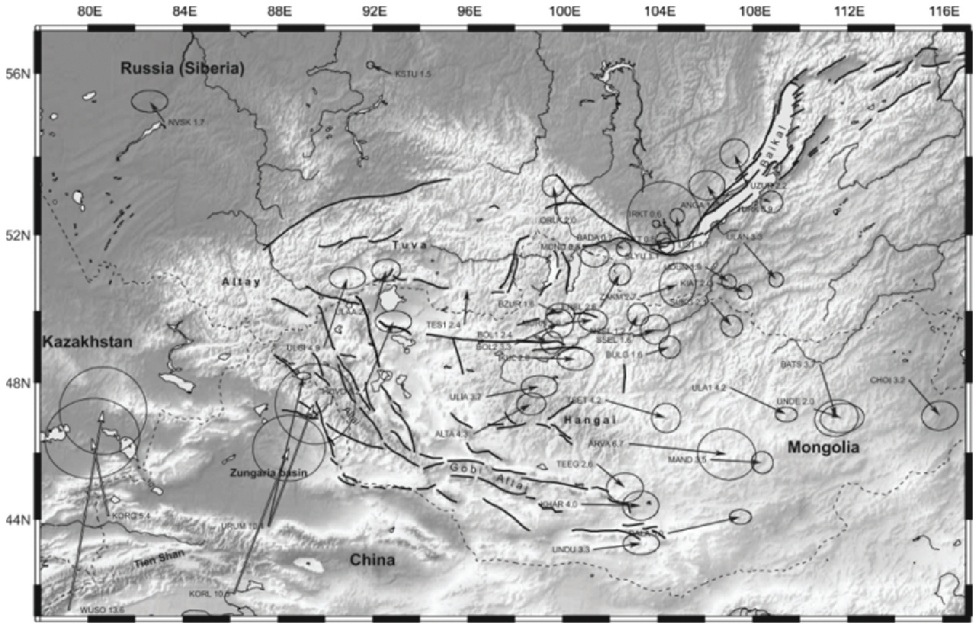

Рис. 2.1.1. Скорости GPS-пунктов относительно Евразии при 95%-ном доверительном интервале [GPS measurements of crustal … , 2003]

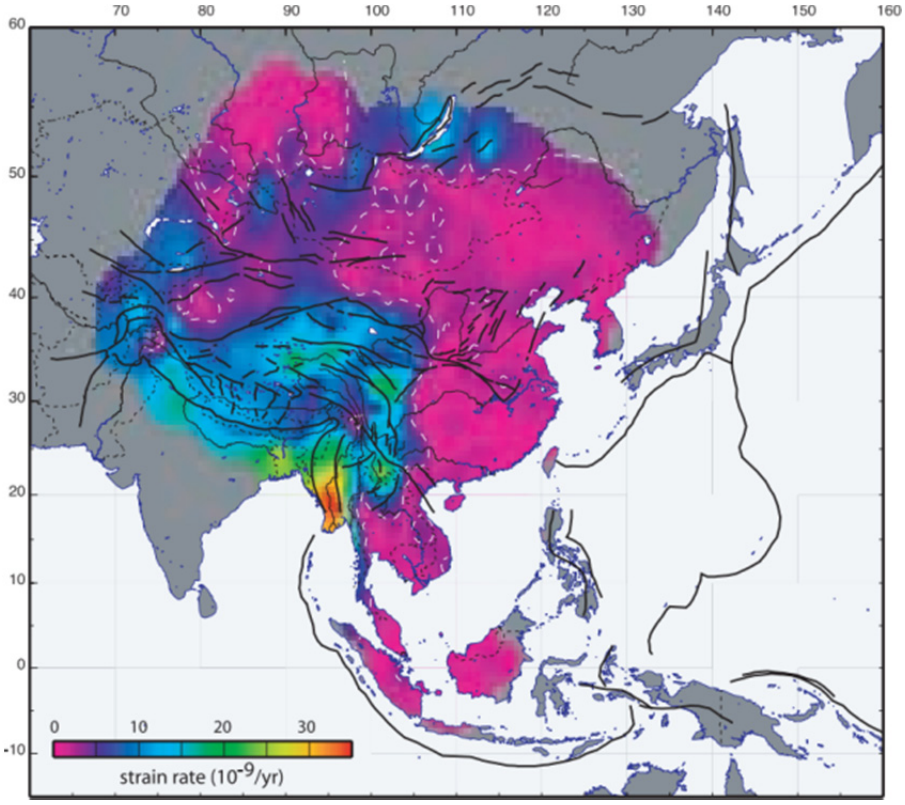

Рис. 2.1.2. Скорость деформации литосферы Центральной Азии [Continental deformation … , 2006]

На остальной территории Азии, в частности в Центральной и восточной Монголии, скорость деформации (при 95%-ном доверительном уровне) не превышает уровня точности определений при имеющихся наблюдательных сетях, т. е. меньше $3 \cdot 10^{-9}$ год$^{-1}$. Геодинамические следствия полученных результатов, по мнению авторов цитируемой работы, заключаются в том, что модель движения блоков, требующая прочной литосферы и концентрации деформаций по разломам, наилучшим образом соответствует движениям земной поверхности на всей территории Центральной Азии, что, однако, не отвергает правомерности модели непрерывной (распределенной повсеместно) деформации, требующей вязкой литосферы, при условии, что существуют латеральные вариации в ее прочности.

Анализ поля GPS-скоростей позволил авторам констатировать следующее.

1. Установлено различие деформационных режимов на территории Монголии западнее и восточнее меридиана 96 °N. В западной Монголии векторы скоростей ориентированы в направлении С–Ю, их величина закономерно уменьшается от 10 (Урумчи, Китай) до 4 в Алтае и до 0 мм/год в районе Сибирской платформы. Снижение скоростей происходит, вероятно, за счет надвиговых перемещений в Монгольском Алтае и сдвиго-взбросовых по разломам Тувы.

2. В Центральной и восточной Монголии векторы скоростей направлены на восток и юго-восток. Эти движения аккомодируются левосторонним смещением по широтным Тункинскому, Болнайскому и Гоби-Алтайскому разломам и раскрытием Байкальской рифтовой зоны. Изменение скоростей от 4 в Гоби-Алтае до 0 мм/год на Сибирской платформе указывает на накопление упругих напряжений в их зонах.

3. Движения коры в Монголии и северном Китае, полученные из геодезических измерений, значительно быстрее, а векторы скоростей направлены иначе, чем предсказано кинематическими и динамическими моделями деформации Азии.

В одной из последних работ, посвященных анализу GPS-измерений в Монголии, в том числе за период с 1994 по 2007 г. [Вращения и деформации … , 2010], описывается деформации земной поверхности для территории Прибайкалья, западной и Центральной Монголии и Тувы. По данным спутниковой геодезии рассчитано поле скоростей современных горизонтальных движений и вычислены скорости относительных деформаций и вращения для сети полигона.

В расчеты были включены результаты не менее чем четырехкратных измерений на 50 пунктах, кроме того, были привлечены данные четырех станций сети IGS, работающих в постоянном режиме. Расчеты поля скоростей смещений GPS-пунктов сети Байкало-Монгольского полигона сделаны относительно Евразии, представленной 15 пунктами.

В целом поле скоростей (рис. 2.1.3) подобно описанному в работах Э. Кале с коллегами [GPS measurements of crustal … , 2003, Continental deformation … , 2006]. Отметим ряд особенностей его строения, приведенных в работе [Вращения и деформации … , 2010].

Авторы выделяют несколько областей с относительно монотонной ориентировкой и характерной вариацией значений скоростей. Юго-западная часть исследуемой территории, включающая горные хребты Монгольского Алтая и впадину Котловина Больших Озер, характеризуется север-северо-восточной ориентацией векторов скоростей. На рисунке 2.1.3 к этой области относятся два GPS-пункта – HOVD и ERZN, скорости горизонтальных перемещений этих пунктов изменяются с юга на север от 4,5 до 1 мм/год.

Рис. 2.1.3. Скорости горизонтальных движений по данным GPS-измерений за период 1994–2007 гг. относительно постоянного пункта IRKT. Эллипсами показаны 95%-ные доверительные интервалы по [Вращения и деформации … , 2010]. Изолиниями показаны осредненные скорости горизонтальных движений (цифры на изолиниях в мм/год)

В центральной области, захватывающей Хангайский горный массив и Южное Прихубсугулье, изменение горизонтальных скоростей GPS-пунктов происходит всего на два мм/год с юга на север на расстояние в 2 раза большее, чем в области, описанной выше. Векторы перемещения пунктов изменяют направление от северо-восточного в районе юго-западных отрогов Хангайского массива (пункт ALTA) на субширотное на севере (BOL2) и приобретают юго-восточную ориентацию на востоке описываемой территории (TEEG, TSET). При этом разница в скоростях перемещения указанных точек не превышает 1,5 мм/год. Подобная картина наблюдается в районе Хэнтэйского горного массива, но недостаточное количество GPS-пунктов в его пределах не позволяет подтвердить этот тезис с достаточным основанием.

Территория Южного Прибайкалья и Орхон-Селенгинского междуречья характеризуется разнообразием движений GPS-пунктов по величине и направлению с четко проявленной тенденцией к увеличению величин скоростей современных движений в юго-восточном направлении. В районе среднегорья в нижнем течении р. Тола, расположенного между горными массивами Хангай и Хэнтэй, отмечается обширная по территории область распространения близких по величине горизонтальных движений GPS-пунктов.

Все отмеченные особенности поля современных горизонтальных скоростей соответствующим образом сказываются на особенностях проявления процессов деформации в пределах исследуемого района (рис. 2.1.4).

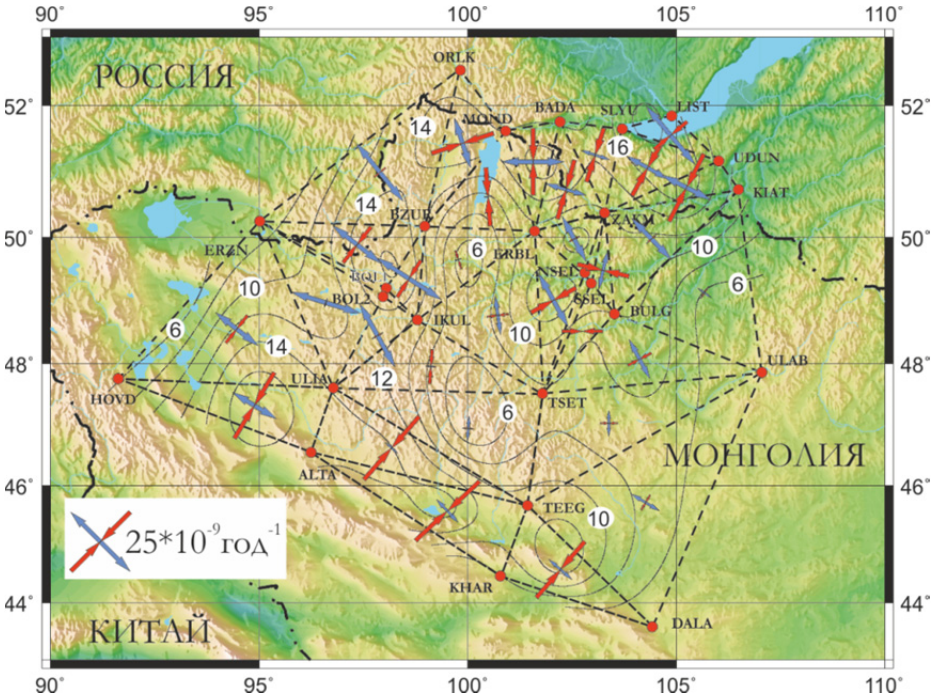

Рис. 2.1.4. Поле скоростей горизонтальных деформаций. Красные стрелки – оси укорочения, синие стрелки – оси удлинения. Изолиниями показаны осредненные значения скоростей максимальных сдвиговых деформаций, рассчитанных по формуле: $\varepsilon_{\max} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)/2$

Высокие значения скоростей максимальных сдвиговых деформаций ($(10–16)\cdot 10^{-9}$/год) образуют область в виде полосы переменной ширины, окаймляющей Хангайское поднятие с юга, юго-запада, запада и севера и продолжающейся на территорию Байкальского рифта. Первая, южная часть этой области протягивается в виде узкой полосы вдоль впадин Долины Озер и юго-западных отрогов Хангая. Она характеризуется преобладанием относительных деформаций сжатия. Данный тип деформаций формируется в результате столкновения масс земной коры, движущихся здесь в север-северо-восточном направлении, с крупным, слабодеформирующимся блоком Хангайского поднятия.

На западе описываемой области проявлены деформации с преобладанием растяжения, ориентированного в направлении ЮВ–СЗ. Деформации этого типа прослеживаются в северо-восточном направлении в виде широкой полосы в пределах впадин Котловины Больших Озер, существенно сужающейся к северу в районе меридиональных рифтогенных структур северной Монголии.

В северной части области, территориально соответствующей району Прихубсугулья (верховья р. Эгийн-Гол), и западной части хребта Хамар-Дабан наблюдаются сдвиговые деформации с существенным преобладанием сжатия.

В местах соединения этих трех частей отмечаются промежуточные по относительным величинам главных деформаций и по их ориентации для сочленяющихся участков условия деформаций.

Еще одна область повышенных скоростей сдвиговых деформаций протягивается полосой в юго-западном направлении от структур Байкальского рифта по

территории Южного Прибайкалья и левобережью р. Селенги в ее среднем течении до северо-восточных отрогов Хангайского горного массива. В данном регионе преобладают сдвиговые типы деформаций. Ориентация главных осей относительных деформаций подобны таковым для второй зоны высоких скоростей максимальных сдвиговых деформаций и достигают значений $16 \cdot 10^{-9}$/год (см. рис. 2.1.4).

Остальные участки исследуемой территории, включающие вытянутую в меридиональном направлении область от центральных частей Хангайского горного массива до южного окончания оз. Хубсугул и Орхон-Селенгинское междуречье, характеризуются невысокими величинами скоростей максимальных сдвиговых деформаций (до $6 \cdot 10^{-9}$/год) и разнообразием ориентации осей главных деформаций и соотношением их величин.

Активное развитие системы GPS-наблюдений в Монголии продолжено с 2010 г. В течение 5–6 лет здесь инсталлировано более 30 новых полевых GPS-пунктов в пределах трех полигонов разных масштабных уровней. Геодезической службой Монголии с 2011 г. были начаты периодические GPS-измерения на постоянных пунктах, установленных практически во всех аймачных центрах. На рисунке 2.1.5 показано положение всех региональных пунктов GPS-измерений Монголии, зелеными кружками помечены временные пункты Байкало-Монгольского полигона, красными кружками – постоянные пункты Монгольской региональной сети, сиреневыми ромбами – временные пункты полигона East; сиреневые кружки указывают на временные пункты Байкало-Монгольского полигона, включенные в полигон East. Четыре пункта Байкало-Монгольского полигона (DALA, TEEG, TSET и ERDE) наблюдались одновременно с пунктами полигона East, что позволило получить параметры современных деформаций в единой для всех пунктов системе.

Анализ рис. 2.1.5 позволяет сделать вывод о более или менее равномерном расположении GPS-пунктов по территории Монголии, что дает возможность с достаточной степенью детальности получить данные по параметрам современных деформаций для различных региональных структур. Однако существуют области Монголии, где необходима установка дополнительных GPS-пунктов. К таковым относятся Котловина Больших Озер, территории вблизи юго-западной части границы с КНР, среднее течение р. Тола и ряд других. Инсталляция GPS-пунктов в названных регионах стоит в планах развития деформационного мониторинга коллективов ИЗК СО РАН и ИАиГ МАН.

В западной и Центральной Монголии часть перманентных пунктов установлена вблизи полевых пунктов, использованных ранее. Такое пространственное совпадение позволяет получить протяженный ряд наблюдений с 2000 г. по настоящее время. Сравнение данных одновременных измерений на GPS-пунктах, расположенных вблизи друг друга, позволяют, с одной стороны, провести контроль параметров деформаций, рассчитанных для данной территории, с другой – связать эти измерения в единую систему.

Существенным недостатком полученных на постоянных GPS-пунктах данных является наличие больших перерывов в измерениях. На рисунке 2.1.6 приводятся временные ряды измерений для ряда перманентных пунктов Монгольской региональной сети. Хорошо видны значительные по времени перерывы в измерениях практически на всех станциях.

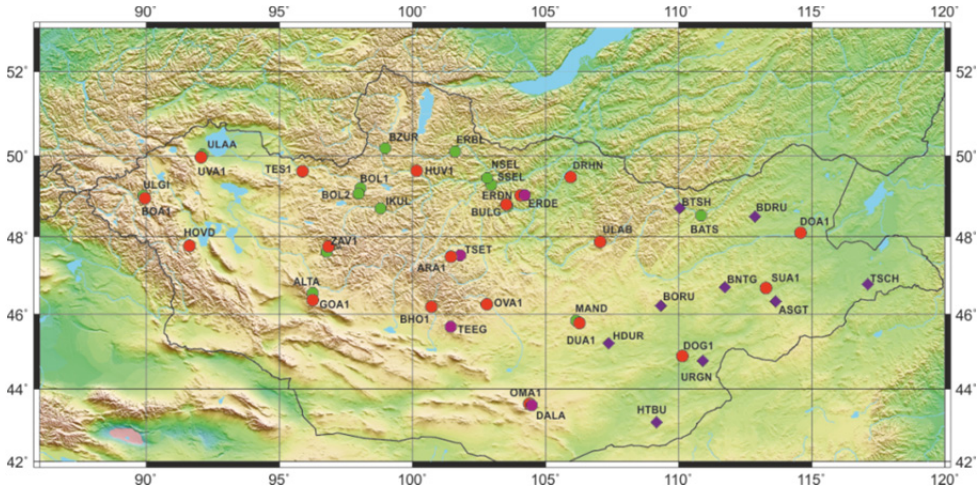

Рис. 2.1.5. Положение временных и постоянных GPS-пунктов региональных полигонов на территории Монголии

Расчеты скоростей движения пунктов выполнены А. В. Лухневым. В расчеты с применением программного комплекса GAMIT включены следующие пункты глобальной IGS-сети: ARTU, BADG, BJFS, CHUM, FAIR, GRAZ, IISC, IRKT, KHAJ, KIT3, KOKB, KUNM, LHAZ, MAG0, NRIL, NVSK, ONSA, PETP, PETS, POL2, SELE, SHAO, TIDB, TIXI, TSKB, ULAB, URUM, USUD, WUHN, XIAN, YAKT.

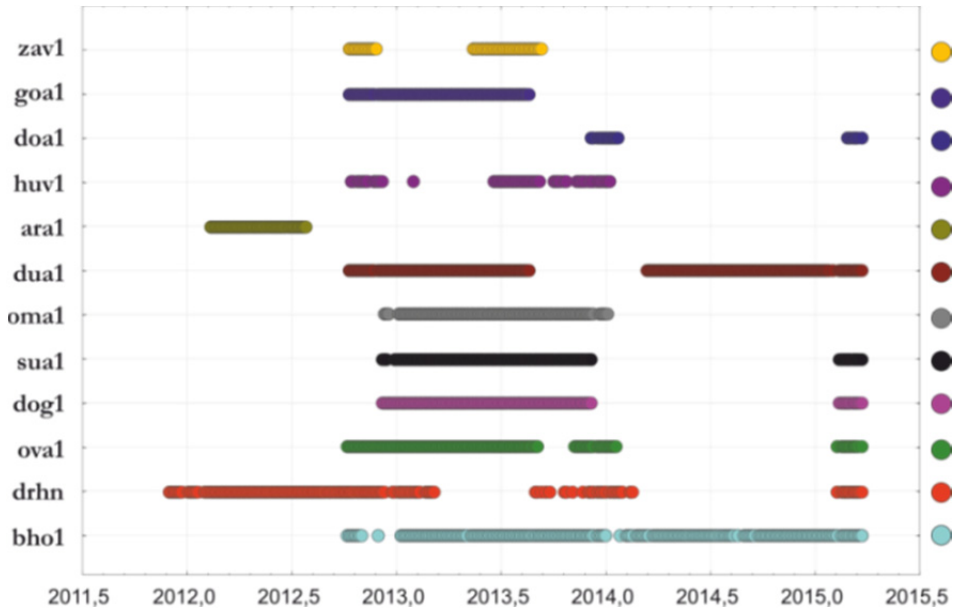

Рис. 2.1.6. Временные ряды GPS-измерений на перманентных пунктах Монгольской региональной сети

Для расчетов скоростей (GLOBK) в общей системе IGS и для связи региональной сети с глобальной использованы сети igs1, igs2, igs3. Евразийская плита представлена следующими пунктами: YAKT, TIXI, IRKT, NRIL, NVSK, KIT3, ARTU, ONSA, NYAL. Все расчеты координат, скоростей и их приращений выполнялись в системе ITRF 2014. Для получения скоростей современных горизонтальных деформаций применялась специализированная программа, созданная сотрудником лаборатории современной геодинамики ИЗК СО РАН Ф. Л. Зуевым. Программа написана на языке Perl и реализует алгоритм вычисления осей главных деформаций в том виде, как он описан в [Теркотт, Шуберт, 1985].

На рисунке 2.1.7 представлено поле скоростей горизонтальных движений по данным GPS-измерений на перманентных пунктах Монгольского регионального полигона за период 2010–2015 гг. Видно, что ориентировки векторов временных пунктов на территории западной и Центральной Монголии в целом совпадают с направлениями движения полевых пунктов, показанных на рис. 2.1.3.

Рис. 2.1.7. Скорости современных горизонтальных движений по данным GPS-измерений на постоянных пунктах Монгольского полигона за период 2011–2015 гг. в системе ITRF2014 относительно Евразии. Эллипсами показаны 95%-ные доверительные интервалы

Максимальными значениями скоростей характеризуются юго-западные (URUM – 10,8 мм/год) и юго-восточные (SUA1 – 9 мм/год) участки рассматриваемой территории. В Центральной Монголии скорости существенно уменьшаются до 3–3,5 мм/год (ARA1, DULG). Происходит закономерное уменьшение горизонтальных скоростей перемещения постоянных GPS-пунктов с юга на север, направление векторов меняется от субмеридионального на западе территории к широтному в Центральной Монголии, затем к восток-юго-восточному в восточной Монголии.

Скорости движения полевых и постоянных GPS-пунктов, расположенных вблизи друг друга, хорошо согласуются по направлениями перемещения; существенное различие наблюдается по их величинам. Для некоторых районов установлены большие скорости горизонтальных движений для постоянных пунктов, что, скорее всего, связано с меньшим временем наблюдений на постоянных пунктах по сравнению с полевыми.

При анализе временных рядов на некоторых постоянных пунктах наблюдается существенное изменение скорости приращения координат пунктов для составляющих перемещения В–З и С–Ю. Эти изменения не имеют видимой связи с сезонными колебаниями и проявляются в виде пульсаций. Для вертикальной составляющей современных движений наблюдаются четко проявленные годовые колебания (рис. 2.1.8).

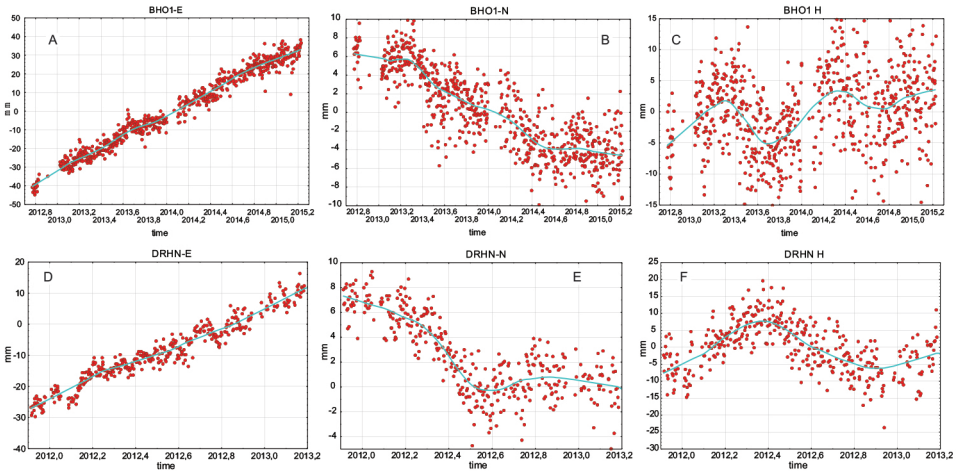

Рис. 2.1.8. Приращение координат скоростей перманентных пунктов Монголии BHO1 (A-C) и DRHN (D-F) по направлению: З–В (A, D), С–Ю (B, E) и по вертикали (C, F)

Поле скоростей относительных горизонтальных деформаций на территории Монголии, рассчитанное с использованием векторов движения постоянных пунктов, подобно по пространственному положению районов с различными условиями деформаций для территории западной и Центральной Монголии. В то же время получены новые данные о деформациях на территории восточной Монголии (рис. 2.1.9).

Рис. 2.1.9. Поле скоростей относительных горизонтальных деформаций территории Монголии, рассчитанное по скоростям перемещения постоянных GPS-пунктов за период 2011–2015 гг. Условные обозначения как на рис. 2.1.4

В целом районы Хэнтэйского поднятия характеризуются относительно невысокими значениями деформаций ($2–4\cdot10^{-9}$ уг$^{-1}$), ориентация осей удлинения – СЗ. В пределах среднего течения р. Керулен деформации достигают больших величин, сопоставимых с их значениями для западной Монголии ($16–18\cdot10^{-9}$ уг$^{-1}$). Здесь наблюдается сдвиговый тип деформаций с северо-западной и северо-восточной ориентацией осей удлинения и укорочения соответственно. Значительная по размерам область проявления деформации растяжения наблюдается южнее, при субширотной ориентации осей удлинения.

Выводы

1. Поле скоростей современных движений на территории Монголии, сохраняя особенности, наблюдаемые в Китае [см., например, Continental deformation … , 2006], разделяется на два потока. Один из них прослеживается от области столкновения Индии – Евразии до южных районов Тувы, уменьшаясь до нулевых значений на Сибирской платформе. Другой отклоняется на восток в Центральной Монголии, затем на юго-восток на территории Забайкалья и Северного Китая; скорости движения уменьшаются от 4,5 до 2,2 мм/год. В направлении с юго-запада на северо-восток Монголии наблюдаются высокие градиенты скоростей, связанные с подвижками по зонам Гоби-Алтайского, Болнайского и Тункинского разломов, имеющих широтное простирание. В районе субмеридиональных впадин на севере Монголии и в Южном Прибайкалье наблюдается область пространственного сочетания векторов скорости современных движений северо-восточного и юго-восточного направлений.

2. Гобийский и Монгольский Алтай и часть Южного Прибайкалья характеризуются деформациями сжатия с субмеридиональной ориентацией главных осей укорочения, а на территориях восточнее и западнее Центральной Монголии (территория Хангайского поднятия и южного Прихубсугулья) преобладает растяжение, оси которого ориентированы в восток-юго-восточном направлении. Остальной частью исследуемой территории свойственны деформации сдвига, местами с преобладанием относительного сжатия или растяжения.

3. Анализ поля скоростей современных движений и относительных деформаций земной коры, вычисленных по результатам GPS-измерений, позволяет предположить существование двух разнонаправленных деформационных уровней в литосфере Монгольского региона. Один из них проявлен в литосфере и, вероятно, связан с процессом движения литосферных масс от районов Индо-Азиатской коллизии в субмеридиональном и север-северо-восточном направлениях. Он проявляется на территории Монголии формированием областей деформаций сжатия, вплоть до районов Южного Прибайкалья. Второй, глубинный, связан с конвективным потоком в мантии, определяющим юго-восточное движение Амурской плиты, которое и контролирует активность разломных структур в районах Центральной Монголии и перемещение Хангайского блока в юго-восточном направлении [Позднекайнозойская геодинамика … , 2011].

тивность движений по позднекайнозойским разломам здесь проявлена практически вдоль всех отдельных фрагментов границы. Оценочно, скорости горизонтальных движений по сдвигам за поздний плейстоцен могут достигать первых миллиметров в год. Соотнося эти выводы с современным уровнем сейсмичности района, который на его юге весьма невысок, можно предположить, что активизация движений по отдельным фрагментам границы блоков происходила неравномерно не только в пространстве, но и во времени.

Исследования, представленные в разд. 2.1 и 2.2, проводились при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-05-00826).

2.3. Оценка современной активности разломов Центральной Монголии на основе тектонофизического анализа эманационных, сейсмологических и геолого-структурных данных

Одной из наиболее важных в практическом отношении характеристик разломов является их активность на современном этапе тектогенеза. Для Центральной Монголии оценка этой активности имеет особое значение, так как здесь, с одной стороны, происходили сильнейшие землетрясения (например, Могодское с *M*w = 7,1; 05.01.1967 г.), а с другой — активно развиваются города, в том числе Улаанбаатар, где проживает более одной трети населения страны.

Современная активность разломов изучается на базе сейсмологических, геодезических, эманационных, деформометрических и других исследований, результаты которых в большей или меньшей степени рассматриваются в гл. 2 для различных объектов Центральной Монголии. В данном разделе сделан акцент на эманационных, геолого-структурных и отчасти сейсмологических материалах, которые анализируются в комплексе на базе тектонофизических представлений о разломе земной коры. В сравнении с традиционными взглядами в рамках тектонофизики разлом трактуется более широко и представляет зону, включающую не только тектониты главного сместителя, но и существенно большие по размерам объемы горных пород, в которых имеют место генетически связанные с его формированием пластические и разрывные деформации [Шерман, Борняков, Буддо, 1983; Семинский, 2003].

Развитие разломных зон в верхней части коры даже в условиях постоянного тектонического режима характеризуется изначальной пространственно-временной неравномерностью [Семинский, 2003]. Полный цикл разломообразования (кроме начальных этапов с эффектами упругости и пластичности) включает три дизъюнктивные стадии, сменяющие друг друга в процессе локализации деформации скалывания. На ранней дизъюнктивной стадии возникает широкая зона сравнительно мелких разрывов, которую в геологической практике обычно называют зоной трещиноватости, зоной скрытого разлома и пр. На поздней дизъюнктивной стадии разлом выражен значительно меньшей по размерам зоной распространения активных разрывов в виде небольших фрагментов магистрального сместителя, между которыми расположены интенсивно нарушенные области их взаимодействия. Разлом стадии полного разрушения представлен единым магистральным сместителем и крупными разломами оперения с тектонитами «рыхло-

Научное издание

ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ

Семинский Константин Жанович
Леви Кирилл Георгиевич
Джурик Василий Ионович
и др.

ISBN 978-5-9624-1540-6

Редактор В. В. Попова
Дизайн обложки: П. О. Ершов

На обложке использована иллюстрация «Сейсмогенный разрыв, образовавшийся при Гоби-Алтайском землетрясении 1957 г." (фото В. В. Ружича)

Подписано в печать 15.12.2017. Формат 60×90 1/16
Усл. печ. л. 20,7. Тираж 300 экз. Заказ 1268

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИГУ
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 124