

На правах рукописи

Шэнь Тлю .

Шэнь То

**Сейсмическая активизация восточного
Тибета в начале 21 века и
сейсмотектоническая роль литосферного
блока Баян-Хара**

специальность 25.00.03 - геотектоника и геодинамика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Москва

2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией методов прогноза землетрясений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН
Рогожин Евгений Александрович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры динамической геологии, Геологический факультет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Захаров Владимир Сергеевич

доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории неотектоники и современной геодинамики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт РАН
Трифонов Владимир Георгиевич


Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения РАН, г. Иркутск**

Защита состоится **24 мая 2018 г. в 14⁰⁰** на заседании диссертационного совета Д 002.001.01 при Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук по адресу 123242, Москва, ул. Б. Грузинская, 10, стр.1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН и на сайте www.ifz.ru. Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации vak.ed.gov.ru и на сайте института www.ifz.ru.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, в 2-х экземплярах просьба направлять по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1, ИФЗ РАН, ученому секретарю диссертационного совета В.А. Камзолкину.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  В.А. Камзолкин
кандидат геолого-минералогических наук

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Тибет является одной из наиболее сейсмоактивных континентальных территорий в мире. Это единственная в Азии область, которая считается зоной коллизии двух континентальных плит, демонстрирующая сильную геологическую и сейсмическую активность. В начале 21-го века в ее центральной части и на ее восточной окраине произошла серия сильнейших землетрясений, ряд которых был приурочен к периферии литосферного блока Баян-Хара. Практически каждое сейсмическое событие сопровождалось существенным экономическим ущербом и человеческими жертвами. Представляемая диссертационная работа направлена на решение ряда фундаментальных проблем, определяющих природу этой сейсмической активизации. Для решения этих вопросов проанализированы следующие направления. Исследование механизма горизонтальных движений в регионе и характеристик глубинного строения под плато Тибета позволяет понять основные черты современной геодинамики региона. Для выявления параметров пространственно-временной миграции сейсмической активности проведен анализ каталога землетрясений, произошедших в 21-ом веке. Рассмотренное в работе строение зон сильнейших землетрясений начала 21-го века в общем контексте геодинамического развития и сейсмической активизации плато Тибет и блока Баян-Хара позволило выявить миграцию сейсмических событий в южном и восточном направлениях.

Цель работы

По материалам сейсмических каталогов выявить причины и закономерности проявлений сейсмической активизации Восточного Тибета и блока Баян-Хара; по результатам полевых сейсмотектонических и сейсмологических исследований выполнить структурную систематизацию очагов серии сильнейших землетрясений, возникших в регионе в 21-ом веке, определить характер пространственно-временной миграции очагов, разработать новую интерпретацию сейсмотектонического процесса в духе современной геодинамики восточного Тибета.

Научные задачи исследований, поставленные для достижения цели работы:

- изучение современной геодинамики и новейшей тектонической истории развития плато Тибета и блока Баян-Хара; сбор новейшего полевого материала и публикаций по этим направлениям.
- анализ сейсмологических, сейсмотектонических и геофизических данных о серии крупных сейсмических событий восточного Тибета, изучение процесса пространственно-временной миграции очагов этих событий и исторических проявлений сейсмичности по сведениям из новейших публикаций.
- полевые сейсмотектонические исследования в эпицентральных зонах этих сильных землетрясений восточного Тибета, получение детальных данных, собранных китайскими специалистами при изучении этих землетрясений, и личных материалов соискателя, анализ этих исходных данных и их интерпретация.
- анализ сейсмологических материалов из сейсмических каталогов [сайты CENC (China earthquake networks center, <http://www.csndmc.ac.cn/newweb/index.jsp>), CEA (China earthquake administration) и сайт USGS (U.S. Geological Survey, <https://www.usgs.gov/>)], вычисление совокупности выделившейся сейсмической

энергии по годам, составление графика высвобождения сейсмической энергии, расчет и выявление закономерностей сейсмического режима по этим данным.

– составление схемы размещения очагов сильных землетрясений 20-го и 21-го веков восточного Тибета по разломам, ограничивающим литосферный блок Баян-Хара, выявление их характеристик и закономерностей распространения во времени, интерпретация полученной миграционной характеристики и пространственных закономерностей миграции очагов.

– изучение материалов по строению верхнемантийного плюма под плато Тибета, выявление связей с полученными сеймотектоническими выводами, формулирование новой интерпретации полученных закономерностей связи проявлений сейсмической активизации региона и основных черт современной геодинамики плато Тибета.

Методы исследования: При выполнении работы использовались современные сеймотектонические методы, по сейсмическому каталогу рассчитана высвободившаяся сейсмическая энергия и выявлены характеристики миграции пространственно-распределённых крупных сейсмических событий.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. В регионе Тибета, который является одной из наиболее сейсмоактивных континентальных территорий в мире, высокомагнитудные землетрясения в ходе активизаций группировались в серии, охватывающие по времени первые десятки лет, и перемежались с периодами затиший протяженностью в несколько десятков лет.

2. По данным сейсмологических каталогов с 1900 по 2015 гг. наблюдаются три крупных сейсмических активизации восточного Тибета. Первая продлилась с 1916 по 1937 гг., вторая - с 1947 по 1955 гг. Вторая активизация совпадает во времени с сейсмической активизацией, отмечающейся для всего мира в 1950-1970 гг. Далее наступило сейсмическое затишье, нарушенное малой сейсмической активизацией 1973-1975 гг., а начало 21-го века до настоящего времени ознаменовалось новой сильной сейсмической активизацией, также отмечающейся для всей планеты. Сейсмические очаги сконцентрировались в центральной и южной частях восточного Тибета.

3. Изучение тектонической позиции, сеймотектонических и сейсмологических проявлений, характера подвижек и строения очаговых зон сильнейших землетрясений восточного Тибета и Гималаев Непала в начале 21-го века показало, что эти сейсмические события во времени последовательно смещались в направлении с севера на юг. Эту закономерность невозможно объяснить с позиций традиционных геодинамических представлений об импульсном пододвигании Индостана под Тибет в северном направлении, а скорее реально увязать с процессом роста верхнемантийного плюма под центральной частью плато.

Научная новизна работы:

1. Впервые проведена оценка выделения совокупной сейсмической энергии по годам по материалам сейсмических каталогов [CENC, CEA и USGS], получены данные об энергетических характеристиках сейсмичности на плато Тибета.

2. По результатам оценки скорости и направления пространственно-временного распространения очагов сильнейших землетрясений сейсмические события в начале 21-го века последовательно смещались в направлении с севера на юг. Традиционно считается, что вся энергия, определяющая подъем Тибетского плато и возникновение

сейсмических активизаций, приходит извне, от Индостанской плиты, в результате ее движения с юга на север. В свете собранных соискателем данных сейсмичность может иметь иную геодинамическую причину, чем пододвигание Индостана под Тибет, сейсмические активизации могут быть связаны с ростом верхнемантийного плюма под центральным плато Тибета.

Практическая значимость работы

По результатам проведенных вычислений выделения совокупной сейсмической энергии по годам из сейсмических каталогов [CENC, CEA и USGS] представляется возможность при долгосрочном прогнозе сильных землетрясений в будущем учитывать повторяемость сильнейших сейсмических событий на территории Тибета и, в частности, в пределах литосферного блока Баян-Хара.

По результатам пространственно-временного анализа распространения очагов сильнейших землетрясений сейсмические события в 20-ом веке и в начале 21-го века, очаги сильнейших землетрясений последовательно смещались в направлении с севера на юг, это является методической основой для мониторинга развития сейсмических активизаций в области предсказания времени возникновения больших сейсмических событий.

В свете собранных сеймотектонических данных о сейсмогенерирующих структурах, породивших сильные землетрясения Тибета, при составлении новой карты общего сейсмического районирования КНР могут быть выделены новые зоны возможных очагов землетрясений (ВОЗ) в центральной и восточной частях плато Тибет и его обрамления и оценен их сейсмический потенциал.

Апробация результатов

Результаты исследований, выполненных автором в ходе работы по теме диссертации, изложены в 4 публикациях в российских изданиях на русском и английском языках, входящих в Перечень ВАК. Основные положения диссертации доложены на Молодежной конференции ИФЗ РАН (Москва, 2015, 2016, 2017) и Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов-2015" (Москва, 2015).

Личный вклад автора

Собранные автором во время полевых работ в окрестностях городов Юйшу и Вэньчуань материалы о геологических проявлениях двух сильнейших землетрясений являются основой для сравнения их с геологическими эффектами землетрясений Куньлунь 2000 г. и Лушань 2013 г., имеющимися в местном сейсмическом бюро. Автор лично проанализировал сейсмические каталоги для выявления периодов активизаций и процессов пространственной миграции очагов сильных землетрясений.

Объем и структура работы

Диссертация на 167 страницах состоит из введения, 7 глав и заключения, включает 52 рисунка и 5 таблиц. Список литературы содержит 171 название.

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность и благодарность своему научному руководителю профессору Рогожину Евгению Александровичу за неоценимую помощь и поддержку в процессе работы над диссертацией, а также к.г.-м.н. С.Н. Родиной за оказанную техническую помощь и критическое обсуждение работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель, задачи и научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту положения.

Первая глава посвящена описанию геодинамической и геологической обстановки плато Тибета и кратко изложены основные характеристики 5 крупных землетрясений (рис.1) в начале 21-го века. Посвящена тектонике и геологии Тибета: Тибетское нагорье (плато) располагается к югу от горно-складчатой системы Тянь-Шаня и Таримской межгорной впадины, к северу от Гималайской подвижной горно-складчатой системы, к западу от равнины Янцзы. В результате активного новейшего воздымания Тянь-Шаня и Гималаев Тибетское плато оказалось «зажатым» в субширотном направлении [Dewey, 2005]. С точки зрения современной геодинамики и сейсмотектоники регион Тибетского нагорья можно разделить на четыре основных подрегиона: Центральное-Тибетское плато, главный Гималайский–коллизонный пояс, окружающий транспрессионный орогенный пояс тибетского плато и боковые экстрезивные террейны. Блок Баян-Хара относится к Центральное-Тибетскому плато. Внутри блока не отмечается существенных молодых деформаций. По данным измерений GPS цельный блок Баян-Хара смещается на восток [Xu Zhiqin et al., 2011].

Таким образом, тектонический блок Баян-Хара имеет по краям три границы: северную, совпадающую с Восточно-Куньлуньским разломом, южную, проходящую по зоне Сяньшуйхэ-Юйшуского разлома, и восточную, трассирующуюся вдоль Лунмэньшаньского разлома. Восточный Куньлуньский левый сдвиговый разлом субширотного простирания демонстрирует скорость смещений более 10 мм/год. Крылья Сяньшуйхэ-Юйшуского левого сдвига, имеющего запад-северо-западное простирание, также смещаются со скоростью 10 мм/год. Восточный Куньлуньский разлом, Сяньшуйхэ-Юйшуский разлом и Лунмэньшаньский разлом обрамляют блок Баян-Хара, который стал самой сейсмоактивной территорией в Китае в 21 веке [Xu Zhiqin et al., 2011; Deng Qidong et al., 2010].

Во второй главе приведены обобщенные детальные данные о тектонике и геологии Тибета. Показано положение плато Тибет в Центральное-Азиатском подвижном поясе, подробно описаны важнейшие особенности геологии, тектоники и истории становления Гандисышань-Гималайского субдукционно-коллизонного орогенного пояса, периферических транспрессионных орогенных поясов Тибетского плато, Тибетских периферических окраинных экстрезивных террейнов, Центрального Тибетского нагорья, литосферного блока Баян-Хара, который располагается в центральной части нагорья. Три границы клиновидного в плане блока Баян-Хара трассируются по трем разломам. Эти три разлома (Восточный Куньлуньский, Сяньшуйхэ-Юйшу и Лунмэньшаньский) стали особенно сейсмически активными структурами КНР в 21-ом веке.

В целом материал, приведенный во второй главе диссертации, используется в качестве сейсмотектонической основы при рассмотрении положения очагов и проявлений сильных сейсмических событий активизации начала 21-го века.

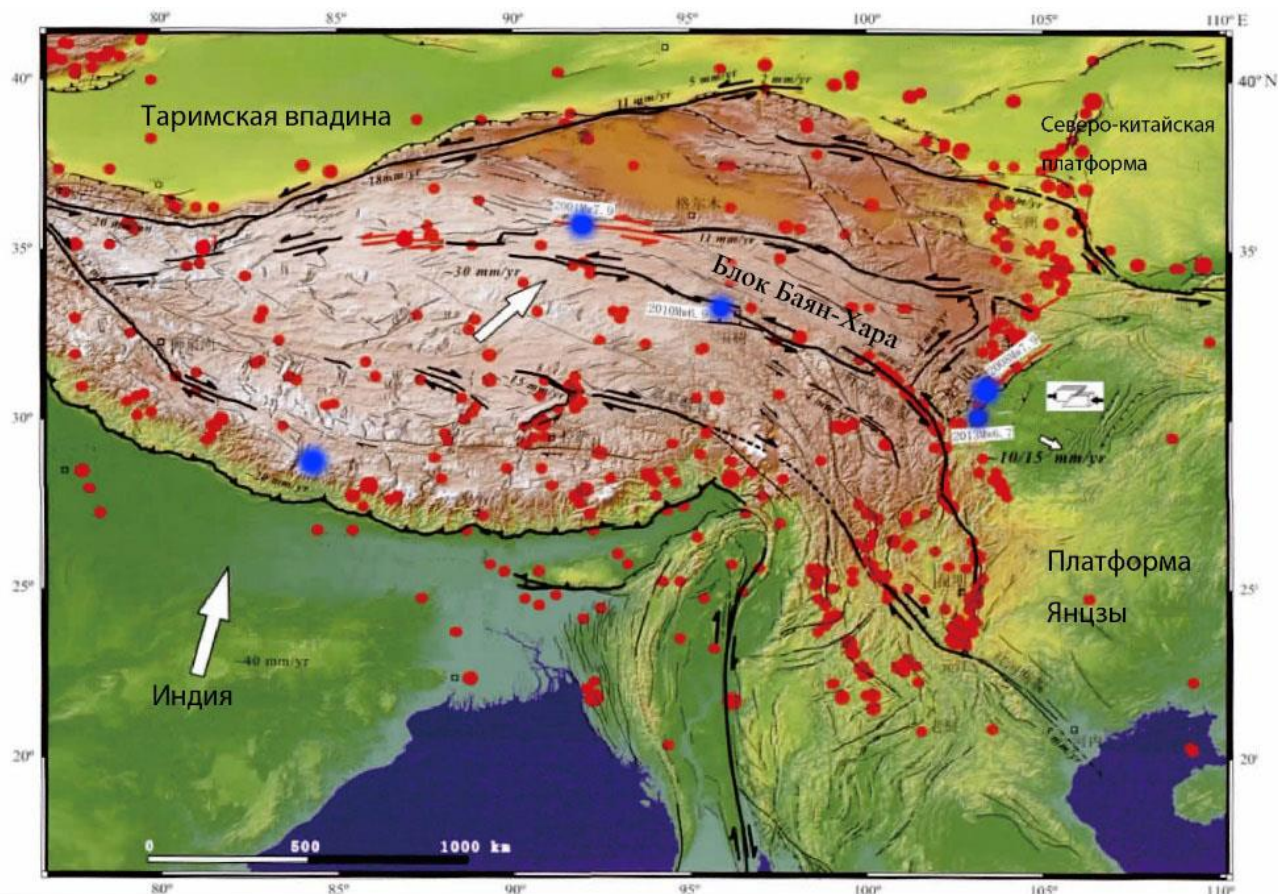


Рис. 1. Положение эпицентров четырех землетрясений произошедших в обрамлении блока Баян-Хара [XU Xiwei et al., 2013 с добавлениями автора], и землетрясения Горкха в Непале. Красные кружки - эпицентры сильных землетрясений Тибета и Гималаев; синие кружки эпицентры сильнейших сейсмических событий начала 21-го века

В третьей главе описаны тектоническая позиция и геологические проявления сильнейших землетрясений Восточного Тибета и Гималаев Непала в начале 21-го века

Куньлунское землетрясение 2001 г.

В Куьлуне 14.11.2001 г. в пределах провинции Цинхай произошло землетрясение магнитудой 8.1. Координаты эпицентра 36, 1° с.ш., 90, 9° в.д., гипоцентр находился на глубине 10 км. Это землетрясение стало первым в 21-ом веке в Китае с магнитудой более 8. Сейсмический очаг вышел на поверхность в виде сейсморазрыва длиной около 400 км, приуроченного к разлому Хох Сай Ху (сегменту Куьлунского глубинного разлома). Средняя скорость смещений по этому разлому составляет 11 – 16 мм/год. Кинематика сейсмогенного смещения – левосторонний сдвиг.

Землетрясение произошло в восточной части Куьлунского орогенного поднятия. Сейсмические нарушения поверхности первичного (сейсмотектонического) и вторичного (гравитационного и вибрационного) генезиса отмечаются в полосе длиной приблизительно 400 км и шириной в первые километры. Сейсморазрыв представлен эшелонированной системой левых сдвигов с простиранием отдельных отрезков разрыва в запад-северо-западном направлении (270 – 290°), трещины (мегасколы Риделя - R) СВВ 80 – 85°, трещины (мегасколы Риделя R') СВ 35 – 45°. Амплитуда горизонтального смещения

составляет 1-2 м.



Рис. 2. Стереографическая проекция на нижнюю полусферу фокального механизма очага землетрясения 14.11.2001 г. (по данным NEIC). Белые поля – области сжатия, голубые – растяжения; белый кружок – ось растяжения, желтый – сжатия

Решение фокального механизма по данным NEIC (рис. 2) показало, что одна из нодальных плоскостей близмеридионального простирания имеет крутое падение, в движении в очаге превалируют компоненты правого сдвига под действием комбинации напряжений сжатия-растяжения. Положение второй нодальной плоскости близширотное. Она круто погружается в южном направлении. По ней в поле сжатия в северо-восточном направлении и растяжения – в северо-западном характер смещения – левосторонний сдвиг. Эту плоскость и следует выбрать в качестве действующей, так как именно такие смещения наблюдаются по системе поверхностных сейсморазрывов. В этом же направлении ориентировано линейное в плане облако сильнейших афтершоков.

Вэньчуаньское землетрясение

Катастрофическое землетрясение с магнитудой 8.0, названное в Китае "5.12 Вэньчуаньским", произошло 12 мая 2008 г. в провинции Сычуань, КНР, на границе Синийских гор Тибета и Сычуаньской впадины. Его инструментальный эпицентр зарегистрирован в юго-восточной части округа Вэньчуань. Глубина гипоцентра - 14 км. Это землетрясение одно из самых сильных и разрушительных на территории континентального Китая, сопровождалось многочисленными людскими потерями, разрушениями застройки и инфраструктуры. Многие округа, города и селения испытали сейсмические воздействия главного толчка и афтершоков. Наиболее пострадавшей является провинция Сычуань. Максимальная интенсивность сотрясений составила XI баллов по китайской макросейсмической шкале. В процессе вспарывания очага на поверхности вскрылась система сейсморазрывов северо-восточного простирания общей протяженностью около 240 км, приуроченная к Лунмэньшаньской зоне разломов.

Система сейсморазрывов нарушила дневную поверхность, разрушила или повредила разные конструкции: здания, сельские дома, мосты, дороги (рис. 3), продемонстрировав правосдвиговые смещения (амплитудой 1.5 - 2.5 м) в комбинации со взбросовыми (уступ высотой 2 - 5 м). Также землетрясение породило десятки тысяч оползней, обвалов, осыпей. Возникли десятки подпруженных обвалами и оползнями озер. То есть геологические эффекты оказались в данном случае наиболее разрушительным фактором.



Рис. 3. Пологий эскарп сейсморазрыва во дворе китайско-французской средней школы, г. Байлу

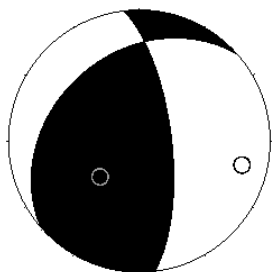


Рис. 4. Стереограмма решения фокального механизма для главного толчка Вэньчуаньского землетрясения по данным NEIC (США). Проекция на нижнюю полусферу. Белые поля – области сжатия, черные – растяжения; черный кружок - ось растяжения, белый - сжатия

Согласно этому решению фокального механизма очага землетрясения 12.05.2008 г., рассчитанное по методу тензора момента центра в Национальном центре информации о землетрясениях Геологической службы США, NEIC (рис. 4) землетрясение возникло под действием преобладающих по величине сжимающих напряжений, ориентированных на северо-запад. Одна нодальная плоскость (NP1) – пологая ($DP=23^\circ$) северо-восточного простирания, другая (NP2) – крутого залегания ($DP=67^\circ$). Ее простирание северо-восточное. Движение по пологой плоскости представлено надвигом (с компонентами левостороннего сдвига). По крутопадающей плоскости движение – взброс (поднято северо-восточное крыло) с компонентой правостороннего сдвига. Учитывая данные о характере смещений по возникшим на поверхности первичным сейсморазрывам, из двух альтернативных плоскостей в

качестве действующей в очаге следует выбрать крутопадающую на северо-запад (NP2).

Землетрясение Лушань. Провинция Сычуань

20 апреля 2013 года в Китае произошло разрушительное землетрясение с магнитудой $M=7$. Эпицентр землетрясения располагался в точке с координатами 30.29° с.ш. и 103.03° в.д.. Очаг находился на территории провинции Сычуань, на глубине 20 км, в 105 км к запад-юго-западу от столицы провинции - г. Чэнду.

Эпицентр располагался в 103 км к юго-западу от зоны катастрофического Вэньчуаньского землетрясения 12 мая 2008 г. с $M=8$. В период с 20 по 22 апреля 2013 г. CENC (China Earthquakes Networks Center) зарегистрировано более 30 повторных толчков с $M=3.0-5.0$. Эпицентры их образовали компактное линейное облако длиной около 50 км и шириной 15 км, приуроченное к зоне Лунмэньшаньских активных разломов (см. рис. 1). Афтершоки Лушаньского землетрясения нарастили в юго-западном направлении эпицентральной область повторных толчков Вэньчуаньского землетрясения 12 мая 2008 г. [Собисевич и др., 2016].

Обе нодальные плоскости решения фокального механизма главного толчка (рис. 5) имеют северо-восточное – юго-западное простирание. Одна нодальная плоскость более крутая ($DP=52-59^\circ$), вторая плоскость – более пологая ($DP=32-38^\circ$). Тип движения по первой плоскости – взброс с небольшой компонентой левого сдвига, а по второй – надвиг с правосдвиговой компонентой.

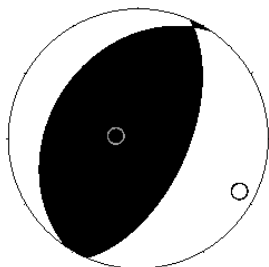


Рис. 5. Стереодиаграмма фокального механизма очага землетрясения Лушань в проекции на нижнюю полусферу (решение ГС РАН). Белые поля – области сжатия, черные – растяжения; черный кружок - ось растяжения, белый - сжатия

Обе плоскости соответствуют по простиранию ориентировке длинной оси овального в плане облака эпицентров афтершоков (рис. 6), выявленных первичных сейсмогенных трещин и длинных осей овальных изосейст высших баллов. Согласно сеймотектоническим данным о Лунмэньшаньской зоне разломов и по аналогии с подвижкой при Вэньчуаньском землетрясении 2008 г. в качестве действующей плоскости в очаге следует выбрать более пологую, падающую в северо-западном направлении, под юго-восточный склон Синьйских гор. Таким образом, смещение в очаге представляло собой взбросо-надвиг северо-западного крыла разрыва в юго-восточном направлении с небольшой правосдвиговой компонентой.

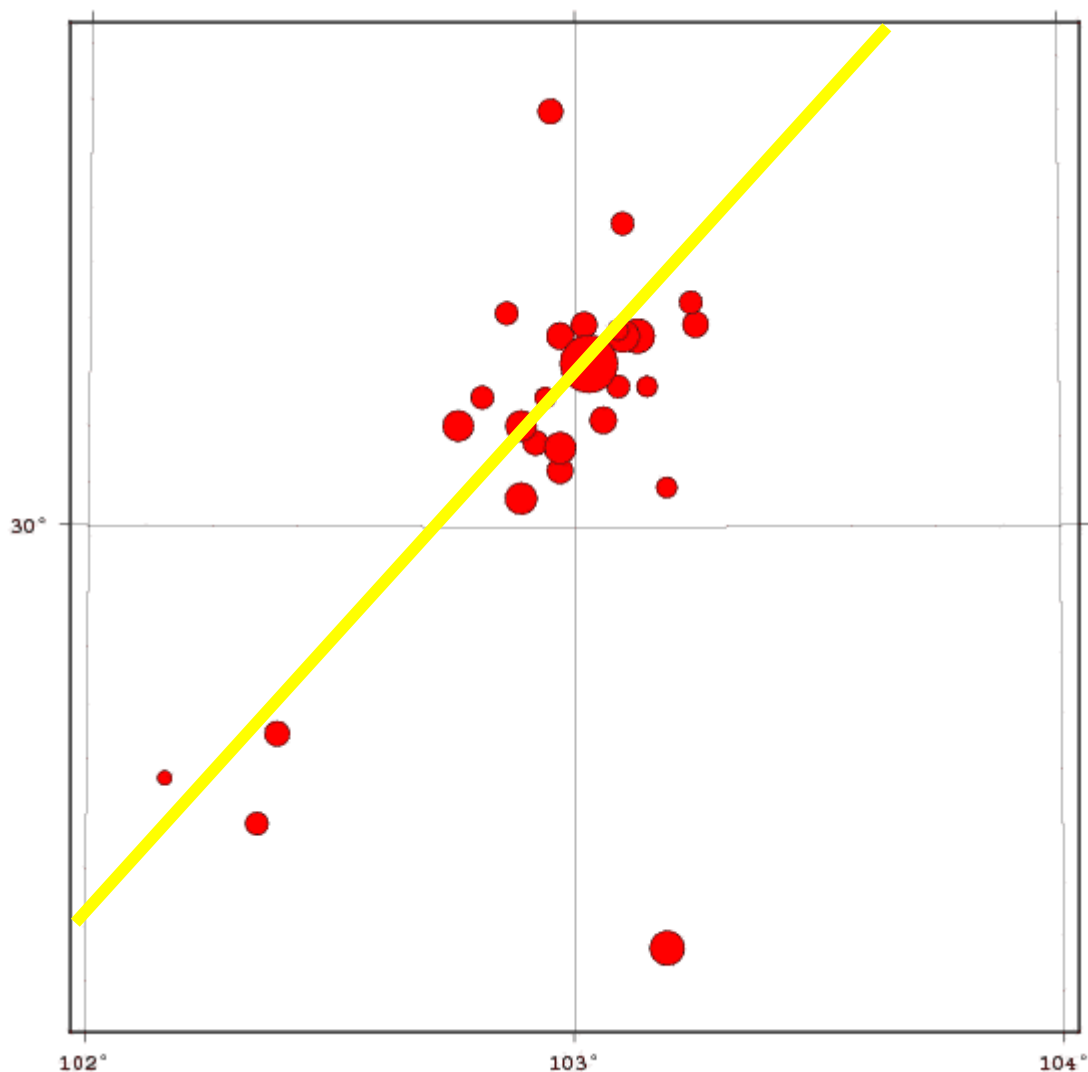


Рис. 6. Эпицентры главного толчка и афтершоков землетрясения 20.04.2013г. зарегистрированные Геологической службой РАН в период с 20 апреля 2013 г. по 7 октября 2014 г.]. Желтой линией показана зона разлома Лунмэньшань

Землетрясение Юйшу

14.04.2010 г. в провинции Цинхай, неподалеку от города Юйшу произошло землетрясение магнитудой 7.1, вызвавшее большие разрушения и многочисленные человеческие жертвы.

По данным Сейсмического бюро КНР, подземные толчки были зафиксированы в 07:49 по местному времени, гипоцентр находился на глубине 10 км (NEIC, ГС РАН) в уезде Юйшу Тибетского автономного округа провинции Цинхай.

Землетрясение произошло на юге литосферного блока Баян-Хара. Эпицентр был приурочен к зоне Грацзе-Юйшу-Фунхуошаньского разлома (см. рис. 1).

Приповерхностное строение зоны сейсморазрыва было изучено в специально пройденной к югу от города Юйшу траншее глубиной около 2м (рис. 7, Б). На фотографии наблюдается сейсмогенный уступ, возникший при землетрясении 2010 года

(рис. 7, А). Плоскость разрыва пересечена канавой, на левой стене которой разрыв погружается к юго-западу под углом около 70° (рис. 7, В). На правой стенке траншеи разрыв имеет угол падения 55° к юго-западу (рис. 7, Г). В стенках выработки видно, что разрыв разделяет четвертичные отложения: плотные пролювиально-озерные суглинки в юго-западном, опущенном крыле и грубообломочные аллювиальные галечники в поднятом крыле. Вертикальное смещение по разрыву, как сказано выше, имело сбросовый характер. Амплитуда сейсмогенного сброса составила до 0.5 м.

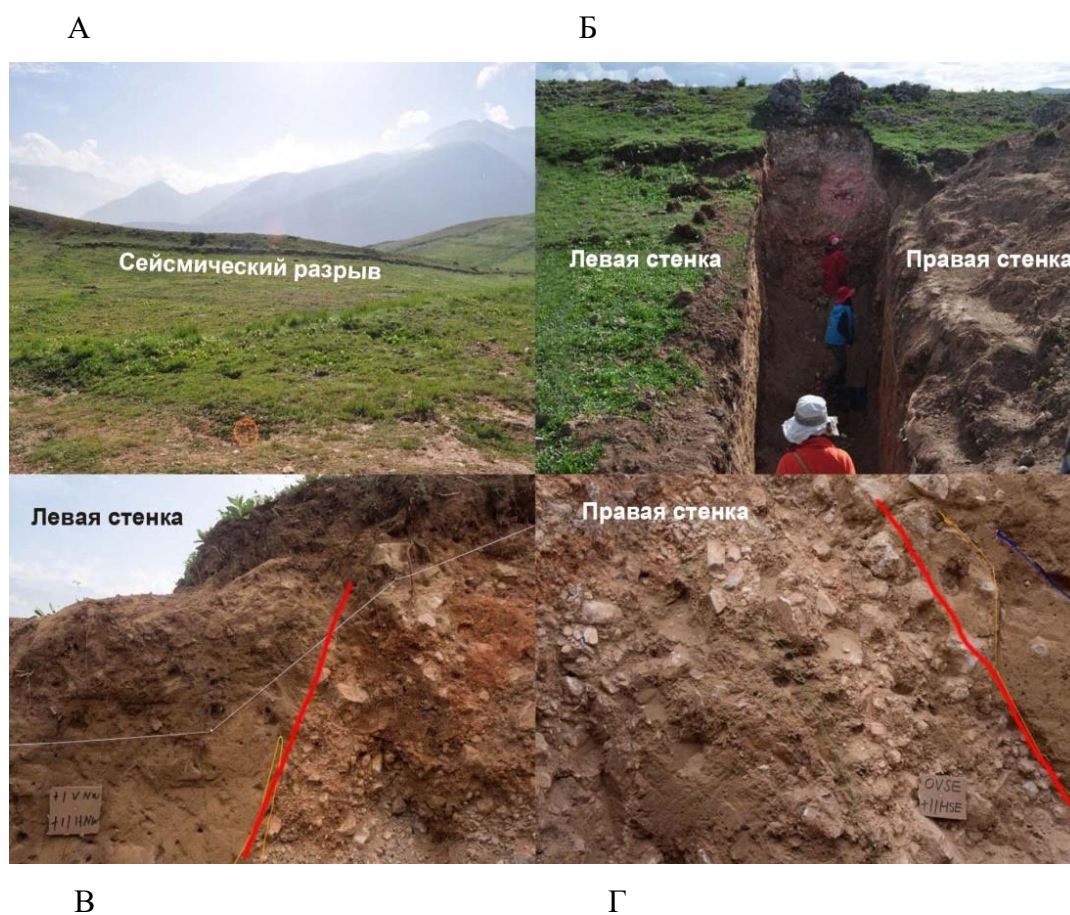


Рис. 7. Траншея, пройденная вкrest простирания сейсморазрыва к югу от города Юйшу (фото автора, 2014)

По материалам тренчинга можно сделать заключение, что активный Грацзе-Юйшу-Фунхуошаньский разлом на данном отрезке имеет древнее заложение. Амплитуда суммарных сбросовых смещений на позднечетвертичном этапе превышает 2 м.

Решение фокального механизма (рис. 8) показало, что землетрясение возникло под действием близких по величине растягивающих и сжимающих напряжений, ориентированных в направлении север-юг и запад-восток соответственно. Смещение – левосторонний сдвиг с подчиненной сбросовой составляющей.

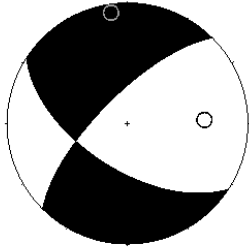


Рис. 8. Стереограмма решения фокального механизма очага землетрясения Юйшу в проекции на нижнюю полусферу (данные ГС РАН). Белые поля – области сжатия, черные – растяжения; черный кружок - ось растяжения, белый - сжатия

Землетрясение Горкха в Непале

25 апреля 2015 года в Непале произошло катастрофическое землетрясение, получившее собственное название Горкха (Gorkha). Моментная магнитуда землетрясения составила $M_w = 7.9$. По данным Службы срочных донесений Геофизической службы РАН эпицентр главного толчка располагался в точке с координатами 28.18° с.ш., 84.78° в.д. Глубина гипоцентра – 15 км. На поверхности не было обнаружено первичных сейсмодислокаций - разрывов, а вторичные дислокации - сейсмогравитационные и вибрационные (обвалы, оползни, трещины и др.) охватили обширную территорию.

В результате землетрясения было разрушено множество зданий в столице Непала Катманду, возникли многочисленные человеческие жертвы. Значительный урон нанесен историческому центру города. На Эвересте в результате сотрясений сошло несколько катастрофических снежных лавин. Толчки ощутили жители соседних стран: в Китае, Индии, Пакистане, Бангладеш, где также имелись человеческие жертвы.

По данным Геологической службы США наивысший макросейсмический эффект составил VIII баллов по Модифицированной шкале Меркалли. В пределах зоны восьмибалльных сотрясений отмечены отдельные населенные пункты, где интенсивность составляла IX баллов, однако закартировать положение девятибалльной изосейсты не представлялось возможным. Восьмибалльная область охватила подножья и южный склон Высоких Гималаев и имела неправильную овальную форму; длинная ось «овала» была ориентирована в запад-северо-западном направлении параллельно простиранию горных хребтов. Длина восьмибалльной зоны составила около 150 км, при ширине 60–70 км. В зону максимальных сотрясений попала столица Непала Катманду и несколько крупных городов – Панаоти (28 тыс. населения), Бхаратпур (107 тыс.), Банепа (17 тыс.).

Размеры очага определяются по распределению эпицентров повторных толчков в первые месяцы после главного толчка (рис. 9). Согласно этим данным проекция очага на поверхности имела овальные очертания, длину около 160–170 км при ширине порядка 70–80 км. Глубина основной массы гипоцентров афтершоков укладывалась в 0–15 км.

Характер подвижки можно определить на основании анализа решения фокального механизма главного толчка (рис. 10). Для этого используются результаты расчетов, представленные в базе данных Global Centroid Moment Tensor database [<http://www.globalcmt.org>]. Подвижка в этом случае представляла собой надвиг Высоких Гималаев в сторону Низких Гималаев и предгорий с незначительной

правосдвиговой составляющей.

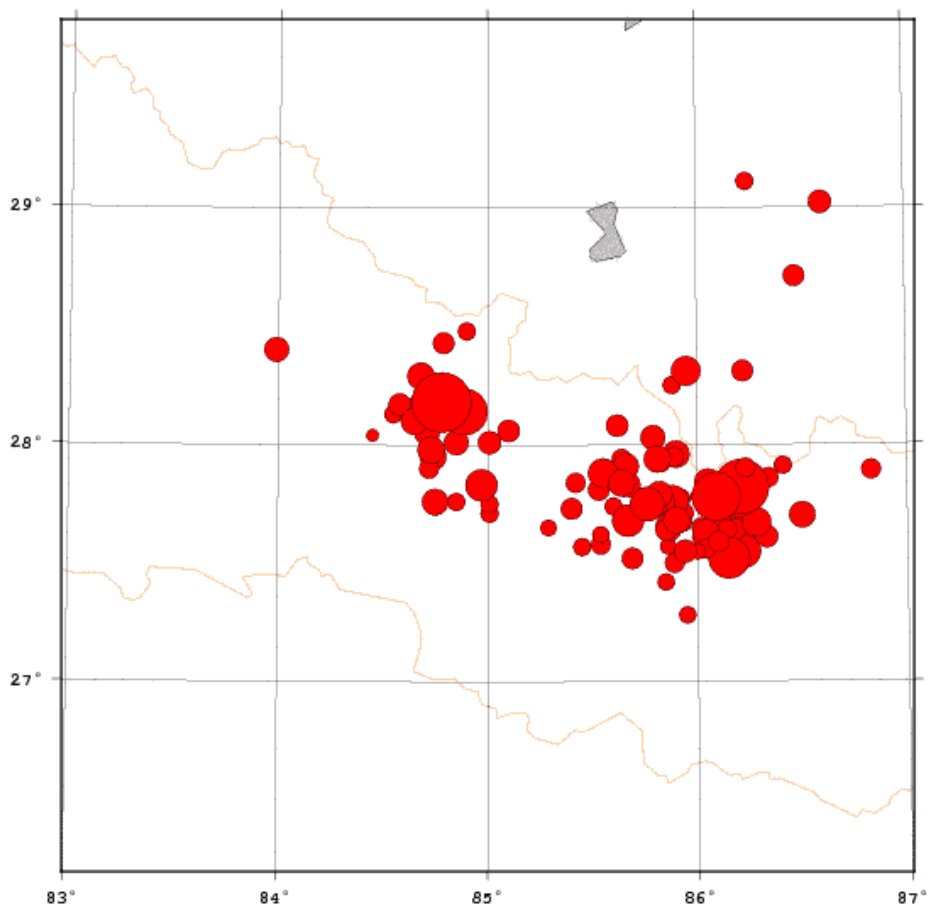


Рис. 9. Карта эпицентров главного толчка и афтершоков землетрясения Горкха 25 апреля, начиная с 24 апреля 2015 по 24 октября 2015 г. по данным ГС РАН

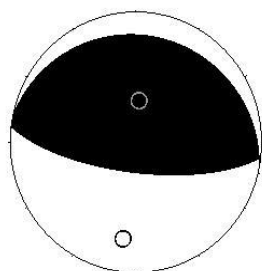


Рис. 10. Стереограмма решения фокального механизма главного толчка землетрясения Горкха в проекции на нижнюю полусферу [<http://www.globalcmt.org>]. Белые поля – области сжатия, черные – растяжения; черный кружок - ось растяжения, белый - сжатия

Собранные сеймотектонические и сейсмологические данные дали возможность построить модель очага главного толчка в виде полого погружающейся к северу плоскости, возникшей в зоне Главного Пограничного взбросо-надвига Гималаев. Горизонтальное смещение в юго-юго-западном направлении (около 190°) в разных частях очаговой области при главном толчке составило от 1.5 до 3.5 м, вертикальная составляющая достигала 2 м.

Четвертая глава посвящена анализу исторических землетрясений. Приводятся результаты изучения зоны активного разлома Хайюань, где в 1920 г. случилось катастрофическое сейсмическое событие с магнитудой $M=8.5$ и разлома Жонгвей, где в 1927 г. произошло землетрясение с $M=8.0$. По литературным и собственным полевым данным составлено представление о выходе на поверхность очагов этих двух сильнейших сейсмических событий. Установлен характер подвижек в очагах этих двух толчков по материалам изучения сейсморазрывов в обнажениях и траншеях (рис. 11-14).

Оба землетрясения характеризовались выходом очагов на поверхность в виде протяженных (первые сотни км) систем сейсморазрывов со взбросово-левосдвиговым смещением амплитудой в первые несколько метров. В целом их сейсмодеформации поверхности по своим масштабам вполне сопоставимы с подвижками в очагах Куньлуньского и Вэньчуаньского землетрясений 21-го века.

В целом возникновение двух сильнейших разрушительных землетрясений на северо-восточной окраине Тибетского плато в 1920 и 1928 гг. говорит о том, что и в начале 20-го века для сейсмоактивных зон Тибета было свойственно возникновение нескольких подряд сильнейших толчков в виде сейсмических активизаций.



Рис. 11. Сейсморазрыв Хайюаньского землетрясения 1920 г. в северо-восточной пограничной части Тибета (фото автора). Приподнято южное крыло



Рис. 12. Взбросовая морфология сейсморазрыва Хайюаньского землетрясения 1920 г. в северо-восточной пограничной части Тибета. Юг справа



Рис. 13. Западный эскарп разлома Жонгвей (Zhongwei fault), породившего землетрясение 1928 г. в северо-восточной пограничной части Тибета. Запад справа



Рис. 14. Взбросовая морфология сейсморазрыва в зоне разлома Жонгвей (Zhongwei fault), породившего землетрясение 1928 г. в северо-восточной пограничной части Тибета. Север слева

15 августа 1950 года в южной части Китая произошло землетрясение Чайю Mw 8.6. Очаг располагался в Тибете, в районе г. Медог на границе с провинцией Ассам. В результате главного толчка 1526 человек погибли. Это событие было шестым сильным землетрясением Китая в двадцатом веке. Эпицентральная область продемонстрировала максимальную интенсивности 12 баллов по китайской макросейсмической шкале. Район эпицентра был нарушен вышедшим на поверхность сейсморазрывом. Город Медог находится в зоне с ожидаемой сейсмической интенсивностью 10 баллов, округ Чайю расположен в области интенсивности 11 баллов. Большинство домов в зоне землетрясения полностью разрушилось, в горах проявились перемещения, связанные с изменениями рельефа. Многие вновь возникшие поднятия поверхности появились в долине реки Брахмапутры, а активизировавшиеся оползни погребли пять деревень или сместили их в реку.

Изучение исторических землетрясений показывает, что сильнейшие сейсмические события в юго-западной пограничной зоне Китая имеют период повторения от 50 до 70 лет.

Таким образом, на Тибетском плато постоянно происходят сильные землетрясения, в 20-ом веке произошли два землетрясения с магнитудой Mw больше 8: Хайюаньское землетрясение Mw = 8.3 в 1920 году и землетрясение Чайю Mw = 8.6 в 1950 году. Имели место также многочисленные крупные землетрясения с магнитудой

M_w больше 6. Согласно китайским историческим летописям, основные сильные землетрясения в древности тоже происходили в Тибете. Так что Тибетское плато является самой сейсмоактивной областью на территории Китая.

В пятой главе приводится оценка высвобождения сейсмической энергии во времени в 20-ом веке и начале 21-го века.

Энергия землетрясений

Различные способы измерения магнитуды землетрясений являются приближениями к «идеальной» энергетической шкале:

$$M = \frac{2}{3}(\lg E - 4,8) \quad (1)$$

где E — энергия землетрясения в джоулях.

По материалам сейсмического каталога CENC для периода с 1 января 1970 г. по 1 июня 2016 г. для региона, который включает весь Тибет и его окрестности в координатах - с 26° - 40° с.ш., с 77° - 107° в.д., представлены данные о сейсмичности. Каталог содержит сведения о 15989 сейсмических событиях. В нём магнитуда представлена по разным волнам (m_s , m_s7 , m_l , m_b , m_B). В результате обработки данных все магнитуды переведены в значения магнитуд по поверхностным волнам. Затем по формуле (1) посчитана энергия каждого события. На этой основе была оценена совокупность выделившейся в регионе энергии по годам с 1970 по 2015 гг.

На основании этих данных построен график выделения сейсмической энергии в регионе (рис. 15). На рисунке видно, что в период 1973–1975 гг. проявилась сейсмическая активизация. Она совпадает с сейсмической активизацией, отмечающейся для всего мира в 1950–1970 гг. [Лутиков, Рогожин, 2014]. Далее отмечается сейсмическое затишье протяженностью около 25 лет. Затем проявились три пика новой активизации, начиная с 2001 года: Куьнлуньское землетрясение 2001 г., Вэньчуаньское землетрясение 2008 г. и Непальское землетрясение Горкха в 2015 году. Эти землетрясения определили сейсмическую активизацию в начале 21-го века. Она также совпадает с мировой сейсмической активизацией в начале 21-го века [Лутиков, Рогожин, 2014].



Рис. 15. График совокупности выделившейся сейсмической энергии по годам с 1970 по 2015 гг.

Также по данным каталога СЕА получены данные о выделившейся энергии при землетрясениях на плато Тибет. Составление суммарного графика (рис. 16) позволяет проанализировать ход выделения сейсмической энергии в регионе в XX и XXI веках.

На рисунке 16 видно, что совокупность выделившейся сейсмической энергии по годам в каталоге CENC&CEA в целом больше совокупности выделившейся сейсмической энергии каталога USGS. Вероятно, в китайском каталоге содержатся сведения о большем количестве землетрясений, особенно в каталоге CENC, где собраны данные обо всех событиях в Тибете с 1970-го года по 2015-й год. По китайским данным на кривой для периода с 1900-го по 1970-й годы из каталога СЕА использованы события с магнитудой больше 5. Другой особенностью несоответствия сейсмологических материалов является регистрация на больших расстояниях, использование разных сейсмических инструментов и разных методов обработки данных, что привело к более низким значениям при оценке магнитуды [Liu Ruifeng et al. 2006].

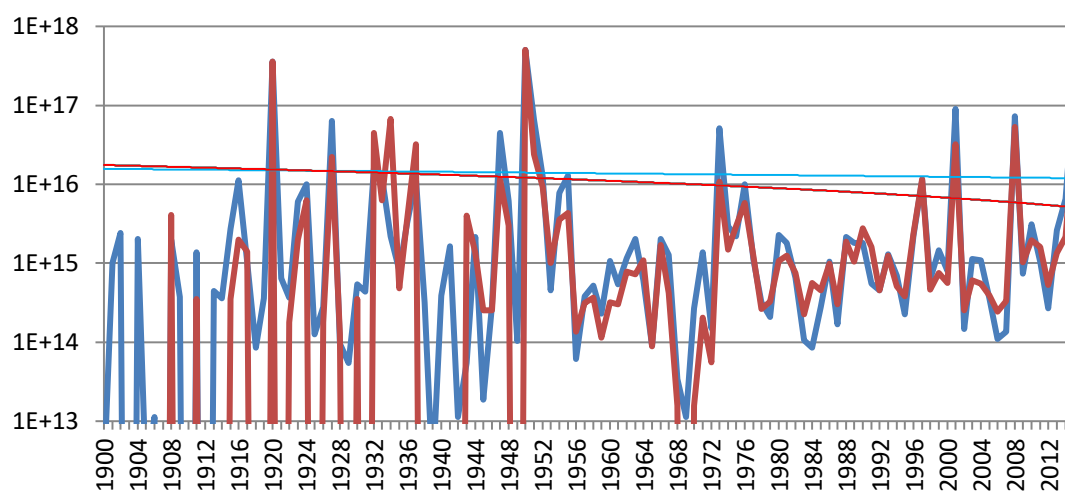


Рис. 16. График совокупности выделившейся сейсмической энергии по годам с 1900 по 2015 гг. (толстая синяя линия - данные каталога CENC&CEA, тонкая голубая линия - тенденция выделения сейсмической энергии по данным CENC&CEA; толстая красная линия - данные каталога USGS, тонкая розовая линия - тенденция выделения сейсмической энергии по данным USGS)

Совместим две кривые совокупности выделившейся сейсмической энергии по годам. Основные выводы при этом не изменились. На рисунке 16 видно проявление трех крупных сейсмических активизаций. Первая активизация с 1916 года по 1937 год продолжалась около 20 лет. Вторая активизация - с 1947 года по 1955 год длилась около 10 лет. Затем в период 1973-1975 гг. проявилась малая сейсмическая активизация. Вторая крупная активизация и малая сейсмическая активизация совпадают с сейсмической активизацией, отмечающейся для всего мира в 1950-1970 гг. [Лутиков, Рогожин, 2014; Deng Qidong, 2012]. Далее отмечается сейсмическое затишье протяженностью около 25 лет. Затем проявились три пика новой активизации 2001-

2015 гг. Она так же, как и первые две, совпадает с мировой сейсмической активизацией начала 21 века, [Лутиков, Рогожин, 2014; Deng Qidong, 2012]. По результатам анализа двух линий тенденции развития процесса (рис. 16) видно, что совокупность выделившейся сейсмической энергии по годам по данным каталога USGS имеет тенденцию уменьшения за весь период наблюдений. По материалам китайского каталога выделение энергии практически постоянно. По-видимому, активизация начала 21-го века ещё продолжается. Это говорит о большой вероятности возникновения новых крупных землетрясений в недалеком будущем,

В шестой главе приводится оценка миграции очагов во времени в 20-ом веке и начале 21-го века.

На схеме (рис. 17) видно, что очаги сейсмических событий во времени последовательно охватывали пограничные разломы по сторонам блока Баян-Хара, с северо-запада на юго-восток, постепенно ослабевая по энергии. Интересно отметить, что в случае Куньлуньского землетрясения северное крыло соответствующего активизировавшегося разлома смещалось на запад, а южное крыло двигалось на восток. Массив южного крыла, таким образом, оказывал давление на северо-западную границу платформы Янцзы (зону разломов Лунмэньшань). В результате через 7 лет после землетрясения Куньлунь случилось Вэньчуаньское сейсмическое событие. Затем возникло землетрясение Юйшу, очаг которого охватил разлом запад-северо-западного простирания, обрамляющий блок Баян-Хара с юго-юго-запада. А в 2013 г. случилось землетрясение Лушань, очаг которого нарастил огромную очаговую область Вэньчуаньского толчка на юго-запад, вплоть до пересечения Лунмэньшаньской системы разломов с разломом Юйшу.

Почти все землетрясения начала 21-го века, таким образом, происходят на периферии блока Баян-Хара.

Деформация литосферного блока Баян-Хара в ходе сейсмической активизации по его границам отражала как бы «выдавливание» Баяка в направлении от центральной части Тибетского плато в сторону платформы Янцзы. Внутри блока сейсмических толчков не отмечается. Таким образом, блок Баян-Хара сдвигается на восток как единое тело [Xu Zhiqin et al., 2011].

По данным наблюдений GPS [Wang Yanzhao et al., 2008] видно, что быстрые горизонтальные смещения в восточных румбах, характерные для восточной части Тибета, практически прекращаются на границе с платформой Янцзы. В пределах самой платформы горизонтальные смещения ничтожно малы.

На этой контрастной границе, совпадающей с зоной разломов Лунмэньшань, сконцентрировались проявления активизации 2008 и 2013 гг.

На рис. 18 показан субмеридиональный график положения пяти сильнейших землетрясений центрального, восточного Тибета и Гималаев Непала в направлении с севера на юг. На графике видно, что положение эпицентров крупнейших землетрясений 21-го века во времени демонстрируют миграцию с севера на юг.

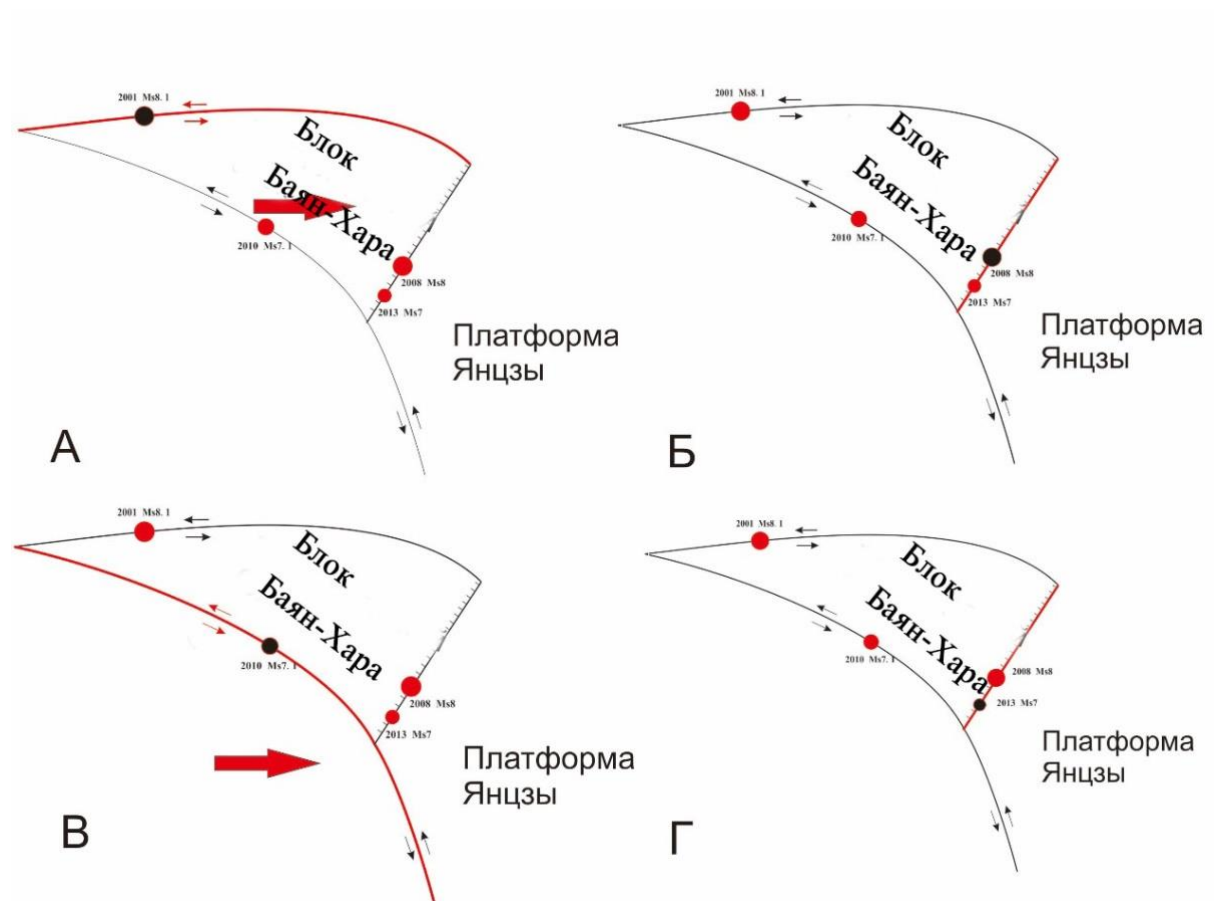


Рис. 17. Схема смещений по разломам во время возникновения четырех землетрясений на границах блока Баян-Хара. А – в момент Куьлуньского землетрясения 14.11.2001 г. с $M_s=8.1$ по Восточно-Куьлуньскому разлому проявился чистый левый сдвиг; Б - в момент Вэньчуаньского землетрясения 12.05.2008 г. с $M_s=8$, по зоне разломов Лунмэньшань проявился правосторонний взбросо-сдвиг; В - в момент землетрясения Юйшу 14.04.2010 г. с $M_s=7.1$ в зоне Грацзе-Юйшу-Фунхуошаньского разлома проявился чистый левый сдвиг; Г – в момент землетрясения Лушань 20.04.2013 г. с $M_s=7$ в зоне разлома Лунмэньшань проявился правосторонний взбросо-сдвиг. Красные кружки — эпицентры землетрясений, черные линии — разломы, черные кружки — эпицентры активных землетрясений на данном этапе, красные линии — активные разломы на данном этапе. Большая красная стрелка — направление распространения энергии

По результатам пространственно-временного анализа распространения очагов сильнейших землетрясений можно сделать предположение, что в начале 21-го века сейсмическая активизация Тибета носила миграционный характер. Сейсмические события со временем последовательно смещались в направлении с севера на юг, охватив кроме блока Баян-Хара, также восточную часть Тибетского нагорья на границе с платформой Янцзы и, наконец, – Гималаи на границе с Индостанской плитой.

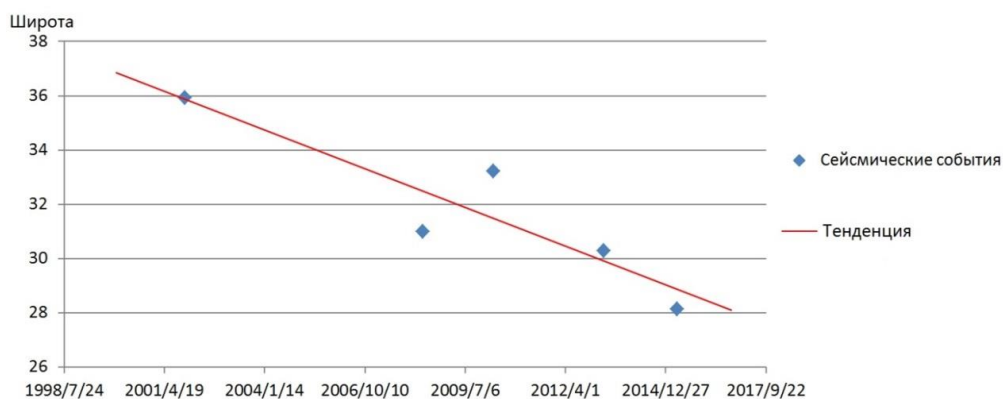


Рис. 18. Пространственно-временная миграция очагов сильнейших землетрясений Восточного Тибета и Гималаев Непала в начале 21-го века

При исследовании трех активизаций с явлениями миграции в 1900-2000 гг. выделяется две крупных активизации с проявлениями миграции очагов в северном направлении и малая активизация в 1973-1976 годах, не сопровождавшаяся миграцией. В ходе двух больших активизаций в 1916-1937 гг. и в 1947-1955 гг. проявилась миграция очагов в северном направлении. Значит в обычном случае геодинамическое воздействие на Тибет происходит со стороны Индостанской плиты и распространяется с юга на север. Сейсмическая миграция очагов тоже ориентирована с юга на север.

И в 1786-1973 годах выделяется 4 периода миграции крупных землетрясений, три из которых имели северное направление, а одна - на юго-восток. В истории также происходили явления миграции очагов в юго-восточном направлении.

В седьмой главе приведена геодинамическая интерпретация причин сейсмической активизации Тибетского нагорья в начале XXI века:

В соответствии с геодинамическими взглядами сторонников плейт-тектонической концепции 50-60 млн. лет назад Индостанская плита в процессе субдукции и смещения на север ликвидировала океанический бассейн Тетиса, объединившись с Евразийской плитой [Tapponnier et al., 1986, Molnar, 1988]. В области столкновения плит возникло горно-складчатое сооружение Гималаев. В новейшее время Тибетское нагорье испытывает интенсивное поднятие, фиксирующееся до настоящего времени [Dewey, 2005]. Объяснить этот процесс исключительно давлением Индостанской плиты на Евразийскую не представляется возможным, поскольку никакого существенного изменения амплитуды восходящих движений поверхности в направлении с юга на север не фиксируется. Также с этих позиций нет объяснений распределению гипоцентров сильных землетрясений под поясом Гималаев и Тибетским плато. Практически все заметные сейсмические события имеют глубину гипоцентров 10-35 км. Рассматриваемая территория относится к весьма активной сейсмической зоне, где возникают в основном коровые очаги землетрясений. Никаких признаков погружения сейсмоактивного слоя в направлении от Гималаев под южный и центральный Тибет нет.

Проведенные в последние годы сейсмологические и геофизические исследования позволяют высказать предположения о геодинамических причинах сейсмической активности Тибета.

Под центральной и юго-восточной частями Тибетского плато практически все зарегистрированные в последние десятилетия землетрясения характеризуются сбросовыми фокальными механизмами очагов. При этом ось сжатия субвертикальна, а ось растяжения близгоризонтальна и ориентирована в близширотном направлении [Elliott et al, 2010]. Как было показано выше, очаги, приуроченные к обрамляющим литосферный блок Баян-Хара с севера и юга активным разломам, характеризуются в целом левосдвиговой кинематикой, а на востоке (в зоне разломов Лунмэньшань) правосторонними взбросо-сдвигами.

В южной части Тибета и на западе Куньлуня преобладают субмеридиональные сбросы, выраженные на поверхности грабенами [Molnar, Tapponnier, 1978]. Для центральной и северной частей Тибета характерны шарнирные левые сбросо-сдвиги широтного и северо-западного простираний, трансформирующиеся к востоку в правые взбросо-сдвиги северо-восточного простирания.

По данным Е.Е. Милановского [1991] в южной части Тибета происходит развитие рифтогенных грабенов – структур, отражающих процесс корового растяжения и ориентированных соответственно в субмеридиональном направлении. Это объясняется тем, что под южной и центральной частями Тибета существует крупный мантийный диапир. Его формирование может быть связано с процессами ретроградного метаморфизма в низах коры и толщах верхней мантии [Артюшков, Чехович, 2014]. Внедрение такого тела сопровождается развитием субмеридиональных грабенов и растяжением верхних горизонтов коры. Существование Тибетского плюма подтверждается также материалами публикации [Xu Zhiqin et al., 2011].

Данные анизотропной сейсмической томографии продольных волн под материковым Китаем и близлежащими регионами [Wei et al., 2016], выполненной с использованием большого количества измерений времен пробега сейсмических волн, зарегистрированных в Китае сейсмической сетью КНР, Международного Сейсмологического центра и временных сейсмических групп, развернутых на Тибетском плато, позволили выявить основные черты глубинного строения верхней мантии в этом регионе. В восточной части плато на сейсмотомографических профилях под слоем относительно низкоскоростной земной коры (мощностью около 50 км) наблюдается высокоскоростной слой на глубинах до 200 км под южной окраиной Тибета и до 400 км под его центральной частью. Северная граница этого высокоскоростного тела близвертикальна и трассируется по юго-западному обрамлению литосферного блока Баян-Хара. Под этим слоем до глубин 600 км и более располагается мощный слой со средними и относительно низкими значениями скоростей p -волн. Таким образом в верхней мантии под южным восточным Тибетом существует обстановка инверсии плотностей, когда высокоскоростной (а значит более плотный) слой залегает поверх более низкоскоростного (менее плотного) слоя. Такое строение недр может являться причиной новейшего подъема плато.

Согласно полученным в работе [Wei et al., 2016] данным по анизотропии в высокоскоростном слое наблюдается центробежное растекание вещества в направлении от южного Тибета на север, юг и в восточном направлении. Это также можно истолковать в качестве признака глубинного диапиризма в низкоскоростном слое верхней мантии под плато.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тибет является одной из наиболее сейсмоактивных континентальных территорий в мире. Здесь на протяжении всей истории цивилизации регистрировались сильнейшие землетрясения. При описании проявлений пяти разрушительных землетрясений в восточной и южной частях плато в начале 21-го века полностью подтвердилась эта его особенность.

По сейсмическому каталогу [сайт CENC (China earthquake networks center, <http://www.csndmc.ac.cn/newweb/index.jsp>)], каталогу CEA (China earthquake administration) и каталогу [сайт USGS (U.S. Geological Survey, <https://www.usgs.gov/>)] была оценена энергия каждого землетрясения 20-го и начала 21-го веков. С 1900 года по 2015 год наблюдается три крупных сейсмических активизации, и одна малая активизация. Первая активизация с 1916 по 1937 гг., продолжалась около 20 лет. Вторая активизация с 1947 по 1955 гг., продолжалась около 10 лет. Затем в период 1973-1975 гг. проявилась малая сейсмическая активизация. Вторая крупная активизация и малая сейсмическая активизация совпадают с сейсмической активизацией, отмечающейся для всего мира в пятидесятых-семидесятых годах 20-го века [Лутиков, Рогожин, 2014; Deng Qidong, 2012]. Далее отмечается сейсмическое затишье протяженностью около 25 лет. Начало 21-го века до настоящего времени ознаменовалось началом сейсмической активизации. Она так же, как и первые две, совпадает с мировой сейсмической активизацией начала 21-го века, [Лутиков, Рогожин, 2014; Deng Qidong, 2012]. Основные толчки были приурочены к северной и восточной границам блока Баян-Хара, расположенного в северо-восточной части нагорья. Сильнейшее разрушительное землетрясение произошло также в Гималаях Непала. То есть, сейсмические очаги сконцентрировались вокруг центральной и южной частей восточного Тибета.

По результатам пространственно-временного анализа распространения очагов сильнейших землетрясений, можно сделать предположение, что в 20-ом веке сейсмические активизации Тибета носили миграционный характер. Очаги землетрясений смещались в основном с юга на север. В начале 21-го века сейсмическая активизация Тибета также имела миграционный вид. Сейсмические события охватили кроме блока Баян-Хара, также восточную часть нагорья на границе с платформой Янцзы и, наконец, Гималаи на границе с Индостанской плитой, охватывая восточный Тибет с севера, востока и юга. При этом очаги землетрясений мигрируют в направлении с севера на юг.

Этот вывод не соответствует существующим в последние десятилетия представлениям о проявлениях сейсмичности и о современной геодинамике центрального Тибета. Традиционно считается, что вся энергия, определяющая подъем Тибетского плато и возникновение сейсмических активизаций, приходит извне, от Индостанской плиты, в результате ее движения с юга на север. Землетрясения всегда считались существенным фактором снятия тектонических напряжений. В свете вновь полученных данных сейсмичность может иметь иную геодинамическую причину, чем пододвигание Индостана под Тибет и быть связана с развитием мантийного плюма под нагорьем.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в периодических изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Рогожин Е.А., Лутиков А.И., Шэнь То Тектоническая позиция, геологические и сейсмические проявления землетрясения Горкха 25 апреля 2015 года в Непале// Геотектоника. 2016, № 5, с. 82-94
2. Рогожин Е.А., Лутиков А.И., Собисевич Л.Е., Шэнь То, Канониди К.Х. Землетрясение 25 апреля 2015 года в Непале: тектоническая позиция, афтершоковый процесс и возможности прогнозирования развития сейсмической ситуации// Физика Земли, 2016, № 4, с. 67-83
3. Собисевич Л.Е., Рогожин Е.А., Собисевич А.Л., Шэнь То, Лю Цзяо Инструментальные наблюдения геомагнитных возмущений перед сейсмическими событиями в отдельных районах КНР// Сейсмические приборы. 2016. Т. 52, № 1, с.39-60
4. Шэнь То, Рогожин Е.А. Геодинамическая и сеймотектоническая активизация восточного Тибета в начале 21 века// Вопросы инженерной сейсмологии, 2017, том 44. № 4. С. 29–50

Материалы и тезисы докладов научных конференций:

5. Катастрофическое землетрясение в Юйшу (провинция Цинхай, КНР) тектоническая позиция и геологические проявления очага//Шэнь То. Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН, г. Москва, 2015.
6. Катастрофическое землетрясение в Юйшу 14.04.2010 г. (провинция Цинхай, КНР): тектоническая позиция и геологические проявления очага// Шэнь То. «ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ». Подсекция: Динамическая геология, г. Москва, 2015.
7. Инструментальные наблюдения геомагнитных возмущений перед сейсмическими событиями в отдельных районах КНР// Собисевич Л.Е., Рогожин Е.А., Собисевич А.Л., Шэнь То, Лю Цзяо Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН, 25-26 апреля 2016 г., г. Москва.
8. Геодинамическая и сеймотектоническая активизация восточного Тибета в начале 21 века// Шэнь То, Рогожин Е.А. Научная конференция молодых учёных и аспирантов ИФЗ РАН-2017 24-25 апреля 2017 г., ИФЗ РАН, г. Москва.

Подписано в печать2018
Формат 64x90/16. Усл. печ. лист 1,75. Заказ
Тираж: 150 экз.
Отпечатано в ИАЦ ИФЗ РАН
г.Москва, Б. Грузинская, 10, стр. 1