

металлов платиновой группы, Au, Sn, As (до 3 %), Sb, (до 1 %), Zn, Pb, Mn, Be, Mo, V, Cd, Hg (десятые доли г/т) [1]. Агентством по охране окружающей среды выделено 8 приоритетных токсичных элементов: Cd, Cu, As, Ni, Hg, Pb, Zn, Cr. Все они установлены в рудах и породах передела месторождений Евроазиатской ветви Арктической окраинно- континентальной зоны. Достаточно высоким содержанием характеризуются и нефтегазовые бассейны, относящиеся к классу нефтей, обогащенных микроэлементами (содержание «биогенных» элементов – Fe, V, Ni более 10 г/т: в г/т: Fe – 330; V – 250; Ni – 170; Zn – 12; Ti – 22; Cu – 6; As-2) [6]. Причем наблюдаются определенные различия: нефти Тимано-Печорской провинции относятся к никелево-ванадиевому типу, а Западной Сибири – к цинковому (там же). Учитывая, что большинство морских нефтегазовых бассейнов являются продолжением Тимано-Печорской и Западно-Сибирской нефтегазовых провинций следует ожидать, что они относятся к ванадий-никелевому и цинковому типу.

Сходная специализация микроэлементов наблюдается и для угленосных бассейнов. Анализ содержания микроэлементов в атмосфере рабочей зоны Воркутинского угольного бассейна показал следующие значения, в г/т: Ni -80-100 мг/м³; Co – 13.6 – 48 мг/м³; V – 46-310 мг/м³; Cr – 63-400 мг/м³; Cu – 30 -150 мг/м³; Pb – 5-35 мг/м³; Zn – 40-400 мг/м³; Mn – 170-1000 мг/м³; Ba – 56-600 мг/м³; As – 0.65- 1-10.2 мг/м³ [7].

Таким образом, арктические минерагенические провинции являются не только основным богатством мирового сообщества, но и возможным источником экологических катастроф.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 08-05-99816_p_север_a.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арктика на пороге третьего тысячелетия (ресурсный потенциал и проблемы экологии / Под ред. И. С. Грамберга и Н. П. Лаврова – СПб.: Наука, 2000. 247 с.
2. Додин Д. А., Вишневский А. Н., Гулин С. А., Кавардин Г. И. Проблемы минерагении Арктики // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 9. С.78-90.
3. Илупин И. П., Ваганов В. И., Прокопчук Б. И. Кимберлиты: Справочник. М.: Недра, 1990. 248 с.
4. Кутинов Ю.Г. Экогеодинамика Арктического сегмента земной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 388 с.
5. Лехи К., Тэйлор Р. Влияние глубинной структуры региона Гленни на алмазы в кимберлитах Саскачевана // Геология и геофизика, 1997. Т. 38. № 2. С. 451-460.
6. Нуkenов Д. Н., Пунанова С. А., Агафонова З. Г. Металлы в нефтях, их концентрации и методы извлечения. М.: изд-во ГЕОС, 2001. 77 с.
7. Рубцов А. И. Эколого-геохимическая характеристика воздуха угольной шахты Воркутинского месторождения (Республика Коми) // Город в Заполярье и окружающая среда. Труды II междунар. конфер. Сыктывкар, 1998. С. 117-119.
8. Чайковский И. И. Специфика алмазоносных образований Западного Урала // Матер. всеросс. конфер. «Золото, платина и алмазы Республики Коми и сопредельных регионов». Сыктывкар: изд-во Коми НЦ УрО РАН, 1998. С. 150-152.
9. Gramberg I. S., Kulakov Yu. N., Pogrebitsky Yu. E., Sorokov D. S. Arctic Oil and Gas Superbassin // X World Petroleum Congress. London, 1983. P. 93-99.

ПОЛЕ ДЕФОРМАЦИЙ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2003 ГОДА

Кучай О.А.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, KuchayOA@ipgg.nsc.ru

В данной работе анализируются сеймотектонические деформации земной коры полученные по данным механизмов очагов землетрясений и афтершоков, до и после Алтайского (27сентября 2003г., $M=7.3$ ($\varphi =50.04^\circ$, $\lambda =87.97^\circ$) землетрясения произошедшего в Алтае-Саянской области.

Расчет сеймотектонической деформации (СТД) по данным о механизмах очагов землетрясений производится в соответствии с представлениями Ю.В.Ризниченко, Б.В.Кострова, С.Л. Юнги [1,2,3]. Площадки осреднения при расчете СТД до сильного события брались равными $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ с шагом 0.25° при мощности сейсмоактивного слоя в 30км. Непосредственно для афтершокового процесса площадки осреднения соответствовали $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ с шагом 0.1° при той же мощности слоя.

Для территории Алтае-Саянской области определения механизмов очагов землетрясений ведутся на основе наблюдений за знаками первых вступлений в продольных волнах. С 1992 года все построения решений механизмов очагов землетрясений в Алтае-Саянской области осуществляются по программе С.Л.Юнги, позволяющей учитывать качество знака первого вступления. Экспериментальными данными для них служат записи землетрясений на сейсмических станциях Алтае-Саянской сейсмологической экспедиции, экспедиции при ИЗК СО РАН, Казах-

ской сети станций, Казахского национального ядерного центра. Для построения решений механизмов очагов афтершоков Алтайского землетрясения, дополнительно привлекались данные китайских станций. Надежно найдены параметры механизмов очагов землетрясений с $M > 4.5$, где в определении участвовало от 25 до 60 пунктов наблюдения. Менее надежно строятся решения для более слабых событий с $M < 4.4$, по 15-20 знакам первых вступлений. В качестве исходного материала для расчета СТД афтершоковой последовательности Алтайского землетрясения использованы данные о 217 повторных толчках с $M = 3.5-6.9$ произошедших в период с 27 сентября 2003 г. по сентябрь 2005 г.

Прежде чем анализировать СТД рассмотрим положение эпицентра Алтайского землетрясения. Механизм очага Алтайского землетрясения также – сдвиговый. Ориентация разрыва Алтайского землетрясения (130°), фиксируемая, в том числе, сейсмодислокациями на поверхности протяженностью до 60 км [4], отвечает существующей региональной системе напряжений [5,6], где близгоризонтальные оси сжатия и растяжения ориентированы субмеридионально и субширотно соответственно. СЗ-ЮВ положение плоскости разрыва Алтайского землетрясения совпадает с простиранием структур на данной территории. Финальный этап подготовки Алтайского землетрясения имеет длительность не меньшую, чем 30-35 лет. Поэтому рассматривались сейсмотектонические деформации (СТД), накопленные за 30 лет до землетрясения. В области подготовки Алтайского землетрясения на более детальном масштабном уровне ориентация главных осей сейсмотектонических деформаций такова, что к западу от очага будущего землетрясения оси удлинения – близгоризонтальны при близвертикальных осях укорочения, к востоку от очага расположена зона с близгоризонтальными осями укорочения. Данные космической геодезии подтверждают этот вывод [7]. О сложном характере поля напряжений в районе Алтайского землетрясения свидетельствуют и материалы палеостресса, полученные Д. Дельво и др. [8] в полевых условиях. Кроме того, этот обширный район характеризуется веерным распределением близгоризонтальных осей укорочения от СЗ к СВ.

Следовательно, начало вспарывания Алтайского землетрясения осуществилось в зоне контакта деформаций с разнонаправленным положением максимальных осей сжатия и растяжения, а в поле широтной, меридиональной и вертикальной компонент деформаций в зоне условной границы разделяющей положительные и отрицательные величины деформаций. К интерпретации рассматриваемого явления можно подойти, исходя из мезомеханической концепции пластического состояния вещества [9]. В рамках этой концепции пластический сдвиг осуществляется по схеме: первичный концентратор напряжений – релаксационный сдвиг со стесненным поворотом, формирующим локальную зону изгиба-кручения как вторичный концентратор напряжения – последующий релаксационный сдвиг и т.д. При этом данная схема развивается на нескольких масштабных уровнях. Разрыв по магистральной трещине является финальным релаксационным сдвигом. Таким образом, моменту разрушения (на заданном масштабном уровне) предшествует образование деформации изгиба-кручения на том же масштабном уровне. Классические теории изгиба и кручения имеют дело с идеальными объектами (стержни, балки, пластины), ограниченными свободными границами, тогда как в нашем случае имеет место стесненные изгиб и кручения ограниченной области неоднородной сплошной среды. Рассматривая механизм влияния изгибной деформации на формирование главного разрыва, имеет смысл говорить о двух возможностях [10]. Первая состоит в том, что, благодаря упругому повороту жесткого блока, поле сдвиговой деформации в некоторой ограниченной области полностью трансформируется в изгибную деформацию. Изгибные деформации инициируют возникновение трещины отрыва в пределах сейсмогенного разлома (либо в полосе локализованной деформации), которая, в свою очередь, вызывает неустойчивость по всему сейсмогенному разлому. Предполагается, что землетрясение возникает на некотором расстоянии пересечения нейтральной поверхности с сейсмогенным разломом. Вторая возможность состоит в том, что изгибная деформация есть локальное осложнение общего поля сдвиговой деформации. Возникающее напряжение растяжения (при трансверсальном пересечении нейтральной поверхности и сейсмогенного разлома) снижает нормальное напряжение сжатия на разломе, что увеличивает отношение T/N (здесь T – касательное и N – нормальное напряжение на разломе) и ускоряет разрыв в рамках критерия Кулона-Мора.

Рассмотрим афтершоки Алтайского землетрясения. Развитие самого афтершокового процесса претерпевает изменение, как в пространстве, так и во времени. Зона общей вытянутости афтершоков совпадает с СЗ простиранием плоскости разрыва в очаге. Первые афтершоки слабых энергий как всегда тяжело выделить на сейсмограмме и обычно эта информация теряется. Поэтому рассмотрим распределение первых афтершоков с $M > 4.5$. Процесс разрушения сильными повторными толчками начался в южном крыле магистрального разрыва на востоке от эпицентра в зоне образования двух расходящихся трещин, затем перекинулся к западу от главного события с возникновением двух сильнейших афтершоков, которые произошли в северном крыле разрыва. Во временном промежутке между сильнейшими повторными толчками зафиксированы афтершоки вдоль всей зоны магистрального разрыва. Возможно, в юго-восточной части южного крыла разрыва и в северо-западной части северного крыла возникли афтершоки, связанные с трассированием юго-восточной и северо-западной границ блоков, которые претерпели смещение при главном обитии.

Обратимся теперь к сейсмотектоническим деформациям, полученным за счет афтершокового процесса Алтайского землетрясения. В качестве исходного материала для расчета сейсмотектонических деформаций афтершо-

ковой последовательности использованы данные о механизмах очагов 217 повторных толчков с $M = 3.6.0-6.9$, происшедших после Алтайского землетрясения в период с 27 сентября 2003 г. по сентябрь 2005г.

Полученные расчеты свидетельствуют о том, что происходит изменение поля деформаций в эпицентральной области после Алтайского землетрясения. Эпицентр главного события располагается вблизи изолинии нулевой деформации, что отражено на картах широтной, меридиональной и вертикальной компонент сейсмостектонических деформаций за счет афтершоков, возникших в течение первых суток. В последующие десять дней и далее, территория занятая повторными толчками расширяется. В западной части афтершоковой области объемы земной коры испытывают широтное удлинение, меридиональное и вертикальное укорочение, их площадь увеличивается к востоку и эпицентр главного события фиксируется внутри этих областей. Восточные области афтершокового деформирования уменьшаются и для них характерно: широтное укорочение, меридиональное и вертикальное удлинение. Следующий 30-дневный период характеризуется перестройкой поля деформаций. В поле широтной компоненты сейсмостектонических деформаций области укорочения на востоке района исследования увеличиваются по сравнению с предыдущим периодом. Для всего поля меридиональной компоненты наблюдается укорочение, при небольшой области удлинения, окружающей очаг. В поле вертикальной компоненты деформаций эпицентр землетрясения вновь располагается вблизи линии разделяющей западные районы удлинения и восточные укорочения. В последний период наблюдений, после 40 дней афтершокового процесса и до конца сентября 2005 года поля сейсмостектонических деформаций достаточно мозаичные, чем за предыдущие периоды. За весь двухлетний период сейсмостектонические деформации за счет афтершоковой деятельности проявляют себя таким образом, что эпицентр главного события располагается вблизи линии нулевой деформации разделяющей области на положительные и отрицательные значения.

В рамках катаклизического анализа совокупностей разрывных нарушений [11] (в лаборатории вычислительной тектонофизики ИФЗ) рассчитаны ориентации осей напряжений по данным афтершоков Алтайского землетрясения. Непосредственно область эпицентра очага отличается близвертикальным положением осей растяжения и изменением в ориентации осей сжатия от субмеридиональных до субширотных. В районах к западу от Алтайского землетрясения оси сжатия преимущественно субгоризонтальные с малым углом падения на юг, к востоку – субширотные с падением на восток. Оси растяжения к западу от очага – субширотные и близгоризонтальные, к востоку – северо-восточные с падением на юго-юго-запад. Коэффициент Лодэ-Надаи меняется в пределах от -0.6 до +0.6, при этом тип напряженного состояния земной коры за счет афтершоковой последовательности ($M \geq 3.5$) соответствует горизонтальному сжатию в окрестности эпицентра Алтайского землетрясения, к западу от эпицентра – горизонтальному сдвигу и в периферийных областях афтершоковой области – горизонтальному растяжению. На карты ориентации осей напряжений сжатия и растяжения нанесены эпицентры афтершоков с $M > 3.0$, произошедших после построения этих карт (октябрь 2005-октябрь 2007). Эпицентры немногочисленных афтершоков располагаются в местах изменения ориентации осей напряжений.

Таким образом, имеющийся экспериментальный материал показывает, что Алтайское землетрясение произошло вблизи линии, разделяющей положительную и отрицательную продольные деформации, рассчитанные по данным механизмов очагов землетрясений, зафиксированных до главных событий. При деформировании земной коры афтершоковым процессом Алтайского землетрясения, сохраняется положение этой условной границы при изменении типа деформирования в обеих частях афтершоковой зоны. Эпицентры афтершоков, произошедших спустя два года после Алтайского события, располагаются в местах изменения ориентации осей напряжений.

Работа была выполнена в рамках Программы 16.3 РАН, Интеграционного проекта СО РАН 116 и при поддержке РФФИ, грант № 07-05-00986.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ризниченко Ю.В. Расчет скорости деформаций при сейсмическом течении горных масс. // Изв. АН СССР, Физика Земли, 1977, N11, С.34-47.
2. Юнга С.Л. О механизме деформирования сейсмоактивного объема земной коры // Изв. АН СССР, Физики Земли, 1979, № 10, с.14-23.
3. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М., Наука, 1975, 174 с.
4. Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Мараханов А.В. и др. Тектоническая позиция и геологические проявления Алтайского землетрясения 2003г. // Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2003г. М.: ИФЗ РАН, 2004, 112с.
5. Жалковский Н.Д., Кучай О.А., Мучная В.И. Сейсмичность и некоторые характеристики напряженного состояния земной коры Алтае-Саянской области. // Геология и геофизика, 1995.т.36, N10, С.20-30.
6. Гольдин С.В., Кучай О.А. Сейсмостектоническая деформация земной коры Алтае-Саянского региона по данным о механизме очагов землетрясений и афтершоков // Активный геофизический мониторинг литосферы Земли: Материалы 2-го Международного симпозиума 12-16 сентября 2005 г.Академгородок, Новосибирск. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005, С.277-282.
7. Гольдин С.В., Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г. Поля деформаций земной поверхности в зоне Чуйского землетрясения, Горный Алтай // Доклады Академии наук, т. 405, № 6, 2005, с. 804-809.

8. Дельво Д., Тениссен К., Ван-дер-Мейер Р., Берзин Н.А. Динамика формирования и палеостресс при образовании Чуйско-Курайской депресс Горного Алтая. // Геология и геофизика, 1995. т.36, N10, С.31-51.
9. Панин В.Е., Елсукова Т.Ф., Панин А.В., Кузина О.Ю. и др. Мезоскопические структурные уровни деформации в поверхностных слоях и характер усталостного разрушения поликристаллов при знакопеременном изгибе. // Физическая мезомеханика, 2004, Т.7, N 2, С.5-17.
10. Гольдин С.В., Кучай О.А. Сейсмотектонические деформации в окрестности сильных землетрясений Алтая. // Физическая мезомеханика, т.11, №1, 2008, с.5-13.
11. Ребецкий Ю.Л. Методы реконструкции тектонических напряжений и сейсмотектонических деформаций на основе современной теории пластичности // Докл. РАН, 1999, т.365, № 3, с.392-395.

СТРОЕНИЕ СРЕДЫ И МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Кучай О.А., Бушенкова Н.А.

ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, KuchayOA@ipgg.nsc.ru, BushenkovaNA@ipgg.nsc.ru

В работе анализируются особенности параметров механизмов очагов землетрясений, произошедших в разных геодинамических условиях. Район исследования включает в себя Тянь-Шань, Таримский массив, Тибет, Памиро-Каракорум, Куньлунь, Алтай, Саяны. Для территории Центральной Азии был создан каталог механизмов очагов коровых землетрясений по материалам [1-9] с $M > 4.5$ (1950-2006гг.), основу которого составили данные Гарвадского центра (СМТ catalog).

По геологическим данным [10] со стороны поднятий Памиро-Каракорума и Западного Куньлуна Таримский массив испытывает косое давление с надвиганием горных массивов и их сдвиговым смещением в северном направлении. По геоморфологическим признакам во внутренних частях Памиро-Каракорумских и Западно-Куньлунских цепей большое значение приобретают правосторонние сдвиги СЗ простирания. Таримский массив смещается на ССВ, пододвигаясь под Тянь-Шань и сдвигаясь относительно его на восток. В полосе контакта Тянь-Шаня и Тарима наблюдаются взбросо-надвиговые (подвиговые) и левосторонние сдвиги. Зона контакта Таримского массива с системой поднятий Восточного Куньлуна-Алтынтага определяется как взбросо-сдвиговая, Алтынтагский левый сдвиг считается северной границей тибетского плато. В движении на восток Тибет опережает Таримский массив. По данным Милановского [11] в западной части Тибета происходит развитие рифтогенных грабенов, входящих в единый парагенез структур сжатия и ориентированных соответственно в направлении сжатия на ССВ. Милановский также подчеркивает, что под южной частью Тибета существует крупный мантийный диапир, что сопровождается развитием субмеридиональных грабенов и растяжением верхних горизонтов коры. Существование Тибетского плюма подтверждается работой [12].

В соответствии с геодинамикой района исследования возникают и очаги сильных землетрясений ($M = 4.5-8.0$). На Тянь-Шане, в полосе контакта Тарима с Тянь-Шанем, в зоне Дарваз-Каракульского разлома, ограничивающего Памир, в Восточном Куньлуне, в Гималаях землетрясения имеют преимущественно надвиговую и взбросовую подвижку. Одна из двух возможных плоскостей разрыва в очагах этих землетрясений совпадает с положением разломов. Преимущественный азимут простирания плоскостей меняется в пределах 60-130 градусов. Очаги сдвигового типа зафиксированы южнее Цайдамской впадины (Тибет), в Алтае-Саянском регионе, на Памире, на западе Таримского массива. Землетрясения, со сдвиговой подвижкой реализованные в зонах крупных разломов, как правило, имеют тот же азимут простирания, что и разлом. Но на Тибете в некоторых очагах плоскости характеризуются СВ или СЗ простиранием. Что касается землетрясений сбросового типа, то проявление их на юго-востоке Китая, в Западном и Южном Тибете, а также на Памире вдоль 73 меридиана установлено по многочисленным определениям механизмов очагов. Нодальные плоскости этих землетрясений – субмеридиональны. При сдвиго-сбросовых подвижках в очагах простирание их меняется от СЗ до СВ.

В статье [12] было показано, что очаговые зоны сильных землетрясений располагаются в областях высоких градиентов скорости Р-волн, приуроченных к поверхности инверсионного слоя на глубинах 25-35 км и к глубоким граничным разломам, отделяющим впадины от горных сооружений, вдоль раздела сред с различными физическими свойствами. Абдрахматовым и др. [13] приводятся данные, что для центральной части Тянь-Шаня при преобладающем сокращении вкост геологических структур деформации локализовались в зонах, которые ограничивают самые крупные и глубокие третичные впадины, наиболее четко выраженные в рельефе и нарушенные наиболее активными современными разломами. Таким образом, логично вытекает вывод о том, что сильнейшие коровые землетрясения Центральной Азии в большинстве случаев возникают в зонах разломов, ограничивающих впадины, в местах, где краевые части впадин вовлекаются в поднятия (подвиг под горное сооружение-северная граница Тарима), т.е. в местах локализации наибольших деформаций.

Логично предположить, что в распределении этих деформаций не последнюю роль играют глубинные процессы и сама структура литосферной мантии. Полученные закономерности строения скоростного поля верхней