

ЛИТЕРАТУРА

1. Шипилов Э.В., Тюрменов В.А., Глазнев В.А., Голубев В.А. Палеографические обстановки и тектонические деформации Баренцевоморской континентальной окраины в кайнозое // ДАН. Т. 407. №3. С. 411-416.
2. Негруца В.З., Негруца Т.Ф. Литогенетические основы палеодинамических реконструкций нижнего докембрия восточной части Балтийского щита. Апатиты. Изд-во КНЦ РАН. 2007. 281 с.
3. Макиевский С.И. Геология метаморфических толщ северо-запада Кольского полуострова. Л., Наука, 1973. 152 с.
4. Бельков И.В. Кианитовые сланцы Кейв. М.-Л. 1963. 321 с.
5. Тюрменов В.А. Осипенко Л.Г. Зональность месторождений кианитовых пород и их физических свойств при нормальных и высоких термодинамических параметрах. Материалы Международной конференции Том 2: г. Казань: Изд. Казанск. гос. ун-та. 2007. С. 237-241.
6. Белолипецкий А.П., Ильин Ю.И. Петрофизические схемы метаморфического комплекса зоны Колмозеро_Воронья (Кольский полуостров) // Сб. Методика и результаты геофизических исследований северо-восточной части Балтийского щита. Апатиты. Изд. КФАН СССР, 1980. С. 111-120.
7. Козлов Н.Е., Сорохтин Н.О., Глазнев В.Н. и др. Геология архея Балтийского щита. СПб: Наука, 2006. 329 с.

ИЗГИБОВАЯ ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ
ТЕКТОНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И РОЛЬ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ

Уткин В.И., Юрков А.К.

Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, voutkin@mail.ru

Многолетние исследования геофизических предвестников тектонических землетрясений с целью обеспечения среднесрочного (месяцы) и краткосрочного (сутки) прогноза тектонического события в настоящее время практически не обеспечивают надежное решение основной задачи прогноза: определение координат, времени и энергии ожидаемого события. Широкий спектр геофизических предвестников (сейсмические, гидродинамические, деформационные, геохимические, термические, гравитационные, электромагнитные), а также спутниковые технологии дистанционного зондирования (например, аномальное повышение температуры поверхности в эпицентральной области Измитского землетрясения – 17 августа 1999 г.), не позволяют определить точное время, место и энергию события. Основная проблема состоит в том, что в различных сейсмоактивных регионах данные предвестники работают различно. Это обычно связывают как со сложностью организации очага землетрясения, условий его зарождения и развития [3]. На основе этого заключения делается, что прогноз землетрясений, как и прогноз погоды, по своей природе имеет вероятностный характер [1,2]. Разрабатываются различные статистические алгоритмы как долгосрочного, так и среднесрочного прогноза землетрясений, которые в отдельных сейсмоактивных областях дают достаточно надежные результаты. Прекрасные обзоры статистических методов прогноза представлены в [1, 3].

Необходимо отметить, что многолетние сейсмологические наблюдения позволили составить прекрасные карты сейсмической опасности практически по всем сейсмоактивным регионам планеты. Анализ выделенных сейсмоактивных поясов показывает, что все разрушительные землетрясения связаны с движениями литосферных плит и крупными литосферными блоками внутри их. Поскольку движение литосферных плит происходит в масштабе геологического времени, можно утверждать, во-первых, что в ближайшие 100-200 лет никаких новейших аномальных сейсмоактивных регионов, вероятнее всего, не будет наблюдаться; во-вторых, должны наблюдаться некоторые общие закономерности подготовки землетрясений. Рассмотрим основные процессы движения литосферных блоков, связанных с подготовкой землетрясения (рис.1).

Представленные модели описывают практически все возможные варианты движений. Первая модель наиболее распространенная соответствует зонам субдукции и зонам надвига: Тянь-Шань, Южная Америка, Индонезия, Япония, Камчатка и т.д. Вторая характерна для сдвиговых движений: разломы Сан-Андреас (США) и Северо-Анатолийский (Турция). Третья соотносится к вновь образующимся рифтовым зонам: Африканская, Мертвое море, Афганская, Байкало-Алтайская, Чукотская и т.п.

Общим процессом для всех моделей является торможение движения блоков за счет трения, что неминуемо вызывает деформацию блоков. Особенностью этих деформационных явлений является то, что блоки *не разрушаются*, поскольку прочностные свойства блоков существенно выше, чем у зоны скольжения, но испытывают *изгибные* деформации. Особенностью деформации такого вида является, во-первых, то, что этот вид деформации является *единственным, который может накопить упругую энергию без разрушения трещиновато-пористой среды*, каковыми являются литосферные блоки. Во-вторых, накопление упругой энергии будет происходить практически без видимых перемещений блока, накапливающего энергию, что сразу же исключает из рассмотрения такой широко используемый предвестник, как регистрация расстояния между базо-

выми точками. Например, анализ данных GPS-мониторинга, проведенного на Северном Тянь-Шане, показал, что все крупнейшие землетрясения Северного Тянь-Шаня находятся в зоне наименьших «вековых» движений по данным GPS [5].

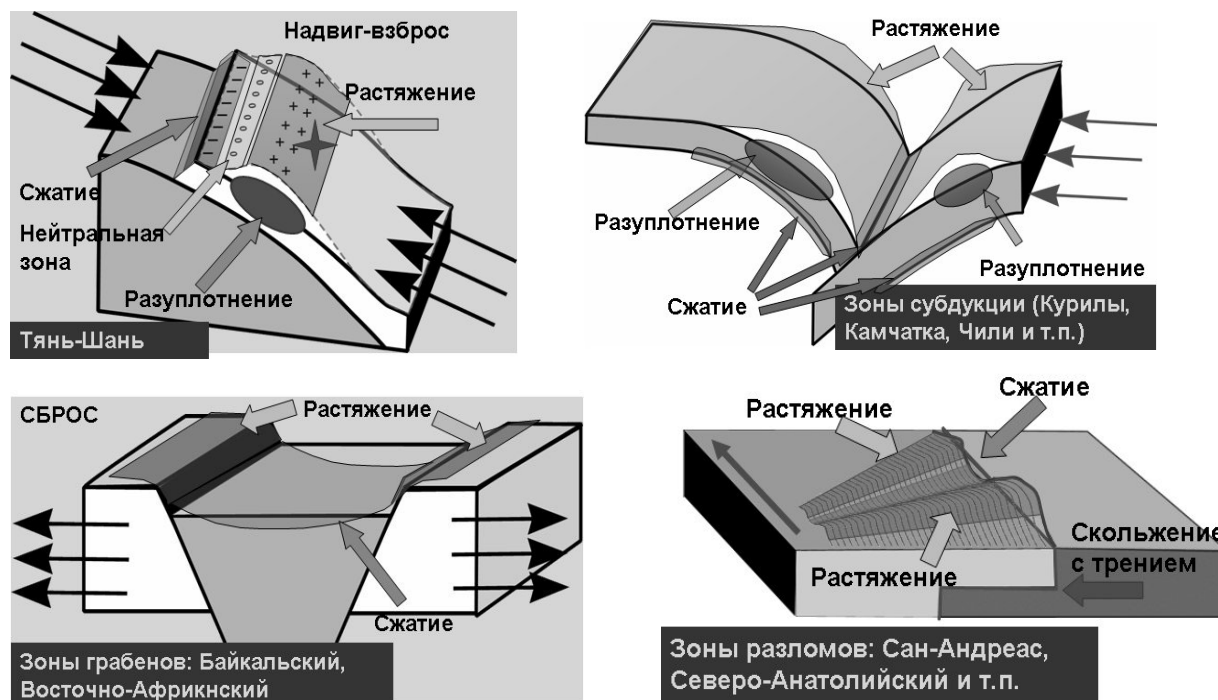


Рис. 1. Геодинамические модели деформационных процессов при подготовке тектонических землетрясений:

а) надвиг - взброс (типично для Тянь-Шаня, Аляски); б) зоны субдукции (Курилы, Камчатка, Чили и др.); в) скольжение с трением (разломы Сан-Андреас, Северо-Анатолийский); г) сброс (зоны грабенов: Байкальский, Восточно-Африканский).

Геофизическими параметрами, которые могут регистрировать деформацию изгиба, могут быть: электрическое сопротивление массива деформирующихся пород, изменение состояния подземных вод (изменение уровня, наличие аномальных перетоков воды по водоносным пластам и т.п.). Однако, как показывает наш опыт и опыт других исследователей, наиболее чувствительным параметром к изменению напряженно-деформированного состояния массива является изменение выхода (экскляция) естественного радиоактивного газа радона из поверхностных частей массива горных пород.

Сопоставление данных деформографа и радонового монитора, расположенных в одной точке измерений (Северный Тянь-Шань), показало, что при подготовке тектонического землетрясения относительная деформации массива составляет $n \cdot 10^{-8}$, а выход радона из массива может изменяться на 200-250% [5].

Наиболее полные данные по радоновому мониторингу были получены King Chi-Yu [6] в результате проведения уникального эксперимента, проведенного Геологической службой США. Регистрация радона осуществлялась в 60-ти точках вдоль известной системы разломов Сан-Андреас-Калаверас-Хайворд. Разница в скоростях движения литосферных плит в этом районе достигает 38 мм/год: Тихоокеанская плита движется на северо-запад со скоростью 49 мм/год; Северо-американская в том же направлении, но со скоростью 11 мм/год (рис.2). Эти движения соответствуют предложенной модели типа (б) (Рис.1) или точнее типа (в). Очевидно, что при этом Тихоокеанская плита будет испытывать при ее торможении за счет внутреннего трения сильнейшие изгибовые деформации, которые неминуемо будут отражены в поле экскляции радона. На рис.2. показаны зоны изменения выхода радона перед землетрясением, выбран некоторый интерпретационный профиль, на котором нанесены относительные изменения выхода радона по отдельным станциям. Видно, что наблюдаются явно выраженные зоны сжатия и растяжения, связанные с изгибовой деформацией верхней части литосферной плиты. Всего было исследовано 25 событий и во всех случаях наблюдалась аналогичная картина [4], причем эпицентры всех событий всегда находились в пределах зоны сжатия (или в зоне уменьшения выхода радона). Характерные изменения выхода радона (усредненная кривая 11. рис.3) показывают достаточно сложную геометрию деформаций. Кроме того, на основании этой кривой можно объяснить многие неудачные попытки использования радона как предвестника тектонического землетрясения

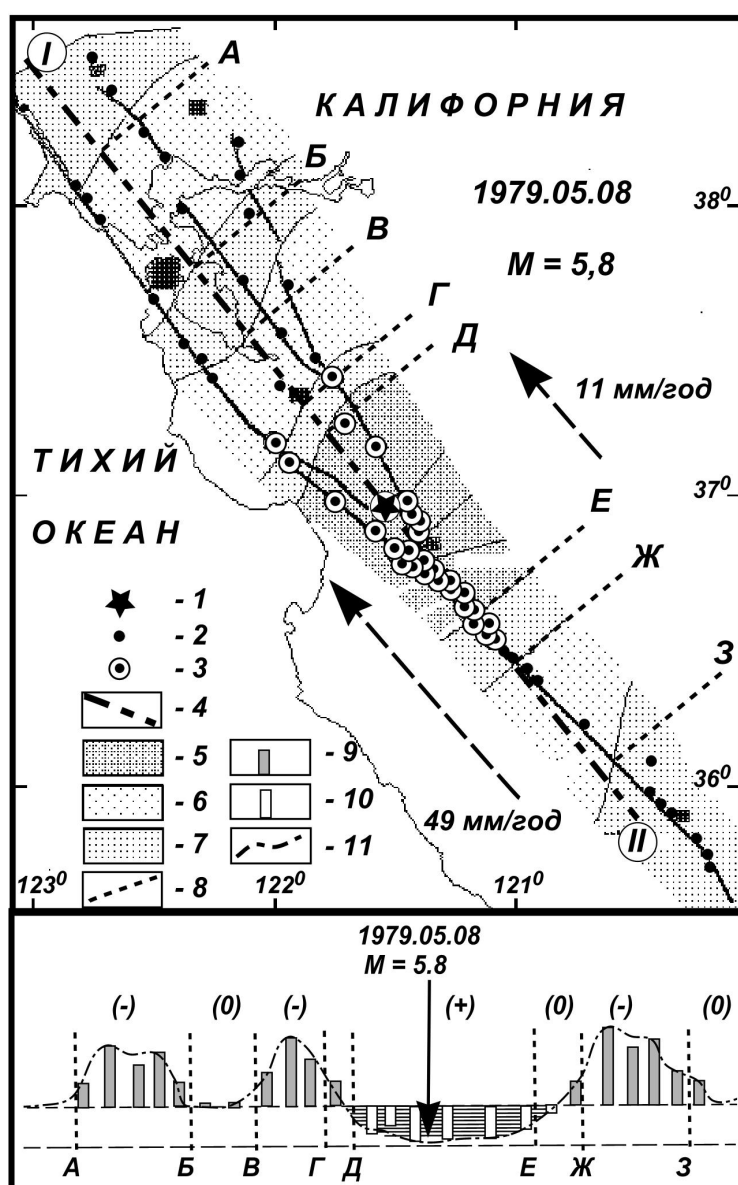


Рис.2. Результаты обработки данных [5] для события 5 августа 1979 года:

1 – эпицентр землетрясения; 2 – станции радонового мониторинга; 3 – станции, в области которых фиксировалось землетрясение; 4 – профиль интерпретации; 5 и 6 – зоны понижения и повышения выхода радона перед землетрясением, соответственно; 7 – «нейтральные» зоны; 8 – границы зон; 9 и 10 – относительное повышение и понижение выхода радона по отдельным станциям (проекция на профиль), соответственно; 11 – усредненная кривая изменения эксхалации радона перед землетрясением.

это кажется на первый взгляд. Работают две мощные энергетические машины : 1. Движение литосферных плит, которое создает необходимые условия для накопления упругой энергии в системе блоков из трещиновато-пористой среды; 2. Энергия солнечных вспышек, которая через возмущение ионосферы передается в барические возмущения атмосферы. Соответственно при условии подготовки литосферы (накоплению в блоках значительной энергии) барические фронты атмосферы инициируют разрядку накопленных напряжений. Главным условием «триггирования» землетрясения следует считать большую скорость барических изменений, чем скорость распространения приливной волны, что практически всегда выполняется.

Энергия землетрясений определяется внутриземными процессами : подготовка к нему, накопление упругой энергии, возникновение в земной коре высоких механических напряжений. Все это определяется сила-

Другим не менее важным процессом при подготовке землетрясения следует признать внутреннее (или межблоковое) трение, которое сопровождает движение литосферных плит. Исследование процессов этого трения, проведенное С.Н. Scholz [7], выявило некоторые важные особенности этого процесса. Во-первых, трение стимулирует деформационные процессы, которые могут привести с нашей точки зрения к накоплению упругой энергии за счет изгибных деформаций. Во-вторых, в реальных условиях может наблюдаться неустойчивость сил трения и возникать достаточно сложные процессы замедления и ускорения движения литосферных плит. Этот вывод, полученный в [7], очень хорошо объясняет возникновение нескольких последовательных землетрясений, эпицентры которых расположены практически в одной точке. Согласно теории неустойчивого трения возможны три процесса: 1. Плавное скольжение по поверхности трения (SLIP – процесс); 2. Прерывистое скольжение, порождающее форшоковые и афтершоковые явления; 3. Отсутствие скольжения, накопление упругой энергии с последующей разрядкой в виде сейсмического события

Третьим важным вопросом является проблема триггирования (принудительного сброса) упругой энергии. Накопленной в процессе подготовки землетрясения. Если принять предложенную выше модель подготовки землетрясения, то можно утверждать, что на всех стадиях подготовки землетрясения, независимо от условий образования изгибной деформации массива, возможен сброс упругой энергии под действием внешних сил. Исследования последних лет показали, что наблюдаются изменения состояния ионосферы, предшествующие тектоническому землетрясению, то есть между космофизическими явлениями и процессами, протекающими в литосфере существует слабая связь, как то влияющая на скорость прохождения этих процессов. Проведенный анализ показывает, что солнечно – атмосферно – литосферные связи значительно сложнее, чем

ми внутри Земли. Роль малого толчка, который выводит подготовленную к землетрясению структуру из состояния неустойчивого равновесия выполняют атмосферные явления жестко связанные с процессами в ионосфере. В свою очередь все явления ионосферно-атмосферных передач энергии определяются процессами, происходящими на Солнце и межпланетном пространстве. Ионосферно-атмосферные циркуляции могут и не инициировать землетрясения, если блочная структура не подготовлена, не находится в неустойчивом состоянии, и, соответственно, наоборот – землетрясение может произойти и без инициации внешним воздействием. Поэтому прогноз землетрясений должен быть всегда на основе комплексных исследований.

Предлагаемая модель может объяснить многие закономерности процесса подготовки тектонического землетрясения и подлежит, по нашему мнению, дальнейшему изучению.

Работа выполнена при поддержке Программы 16 Президиума РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993, 314 с.
2. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003, 270 с.
3. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений : основы, методика, реализация / Ин-т физики Земли им. О.Ю.Шмидта.-М.: Наука, 2006, -254 с.
4. Уткин В.И., Булашевич Ю.П., Юрков А.К. Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясений // Доклады РАН, № 2, 1998, т.358, № 5, с.675-680
5. Уткин В.И., Мамыров Э., Кан М.В., Кривашев С.В., Юрков А.К., Косякин И.И., Шишканов А.Н. Мониторинг радона при изучении процесса подготовки тектонического землетрясения на Северном Тянь-Шане // Физика Земли. №9. М.: 2006. с.145-155.
6. King Chi-Yu, Walkingstick C., Basler D. Radon in soil gas along active faults in Central California. Field studies of radon in rocks, soil and water. / Gunderson L. and Wanty R. editors / U.S. Geological survey bulletin: 1991. P. 77-133
7. Christopher H. Scholz Earthquakes and friction laws // Nature. 391, 1998, pp. 37-42

НОВЕЙШАЯ ТЕКТНИКА ВНУТРЕННЕЙ АЗИИ: ПОВЕРХНОСТНАЯ И ГЛУБИННАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Уфимцев Г.Ф.

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, ufim@crust.irk.ru

Изначально следует учитывать уровни организации структуры земных недр и тектонического рельефа Земли: горные пояса и равнинно-платформенные области, междугорья; структурные зоны (сложные ансамбли неотектонических форм); простые неотектонические формы. Если говорить о Внутренней Азии, то она, включая Тибет-Гималайский, Центральноазиатский и Монголо-Сибирский орогенические пояса, Таримское междугорье и краевые части молодых и древних платформ, является «надсистемой», приуроченной к субмеридионально вытянутой области пониженных высот геоида, разделенной на две части уступом, соответствующим положению Гималайского фронта. Причем южная часть этой крупнейшей на Земле отрицательной аномалии поверхности геоида имеет максимальное понижение высот. Сопоставление высот геоида с результатами планетарной сейсмической томографии и соответствующие расчеты показали, что нижние кромки аномалиеобразующих масс располагаются на глубинах порядка 1500 км, и что залегающие на глубине «холодные» массы по линии Гималайского фронта могут быть подразделены на два гигантских коромантийных блока взаимодействующих между собой на глубине, возможно, до раздела «ядро-мантия». Таким образом, главной ареной спектакля новейшей орогении Внутренней Азии является относительно охлажденный сектор Земли. Взаимодействия литосферных геоблоков, влияние астенолитов, плюмов и вообще плотностных неоднородностей на молодую геодинамику земной поверхности и приповерхностных частей литосферы осуществляются на этом общем фоне и на уровне орогенических поясов главнейшее сводятся к следующему.

Монголо-Сибирский возрожденный горный пояс в виде систем больших сводовых поднятий, зон умеренного тектонического скупивания и Байкальской рифтовой зоны характеризуется общим цокольным воздыманием в виде гигантского свода площадью около 1,5 млн. км². Рельеф этого свода обнаруживает парагенетическую связь с морфологией и толщиной подлитосферного астенолита. Выступ аномальной мантии от северного края астенолита достигает раздела Мохо и определяет развитие Байкальской рифтовой зоны. Субгоризонтальная подкоровая апофиза, распространяющаяся на юго-восток до Монголо-Охотского шва, определяет, видимо тектоническое скупивание в верхних частях земной коры в Забайкалье, компенсирующее ее растяжение в рифтовой зоне. Аномалия высот цокольной поверхности вдоль 100° в.д., где располагаются возвышенное Окинское плоскогорье, Хубсугул-Дархатская секция рифтовой зоны с положением днищ рифтов на высо-