

*Тисф*

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ГОРНО-АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**"АЛТАЙСКОЕ (ЧУЙСКОЕ)  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ: ПРОГНОЗЫ,  
ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОСЛЕДСТВИЯ"**

**Материалы научно-практической конференции**

**ГОРНО-АЛТАЙСК  
2004**

Печатается по решению редакционно-издательского совета ГАГУ

"Алтайское (Чуйское) землетрясение: прогнозы, характеристики, последствия". Материалы научно-практической конференции. - Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2004. 182 с.

**А 19** В сборнике научных статей рассматриваются результаты первого этапа изучения землетрясения, произошедшего на Алтае 27.09.2004 г. и продолжающегося до сих пор, анализируются предвестники, особенности данного землетрясения, механизмы. Рассматриваются социальные последствия землетрясения, возможное влияние на здоровье населения, биоразнообразие.

Сборник предназначен для специалистов, занимающихся сейсмологией, геоэкологией, географией, преподавателей высших и средних учебных заведений.

Ответственный редактор -

*А.В. Шитов*, к.г.м.н., доцент кафедры геоэкологии и природопользования, директор IT-технопарка ГАГУ

**ISBN 5-85127-288-0**

# ЧУЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

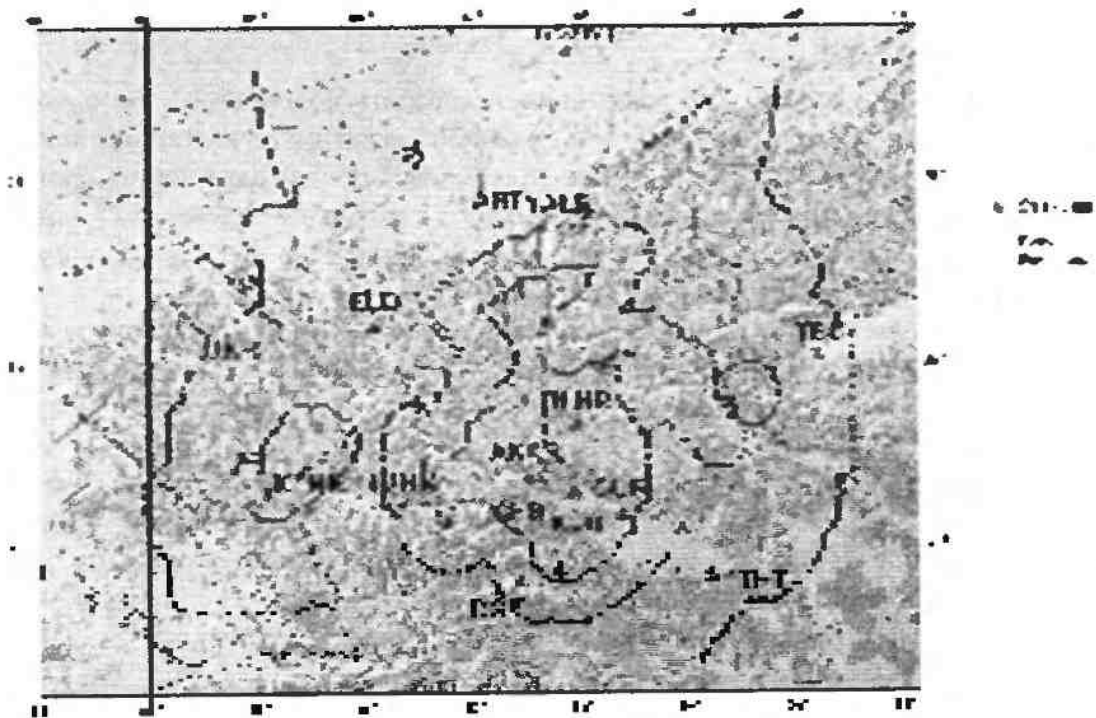
*А.Ф. Еманов, В.С. Селезнев, С.В. Гольдин, А.А. Еманов, А.Г. Филина,  
Ю.И. Колесников, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова, М.А. Ярыгина*

**Геофизическая служба СО РАН, г. Новосибирск**

27 сентября 2003 г. в 11 часов 33 минуты 23.3 секунды по Гринвичу на территории Горного Алтая в долине р. Чуя в горной перемычке между Чуйской и Курайской впадинами произошло землетрясение с магнитудой по шкале Рихтера  $M=7.5$  (координаты эпицентра - 50.04 с.ш., 88.07 в.д.). За инструментальный период сейсмологических наблюдений это самое крупное землетрясение на территории Алтае-Саянской складчатой области. Данное событие получило название "Чуйское землетрясение" /1,2/.

Событие произошло в центральной части Горного Алтая, где за год до землетрясения начала формироваться локальная сеть сейсмологических станций Алтайского полигона. Место для полигона было выбрано, основываясь на результатах исследования сейсмического режима, описанных в работе /3/. Формирование сейсмологического полигона /4,5/ началось вокруг интересных геологических объектов, обладающих высокой сейсмической активностью. В центре полигона оказались две впадины - Курайская и Чуйская - и их горное обрамление - Курайский, Северо-Чуйский и Южно-Чуйский хребты. Восточная граница полигона достигает Шапшальского хребта, а северная захватывает оз. Телецкое.

Формирующийся полигон состоит из двух участков - северного и южного. В девяностые годы XX века сеть стационарных станций для всей Республики Алтай включала три станции: Артыбаш, Актан и Усть-Кан. Две первые станции в настоящее время являются опорными пунктами северного и южного участков полигона, а станция Усть-Кан играет важную роль в повышении точности наблюдений, как станция, позволяющая "взглянуть" на сейсмический



*Рис.1 Алтайский сейсмологический полигон.*

*А- карта представительности регистрации землетрясений;*

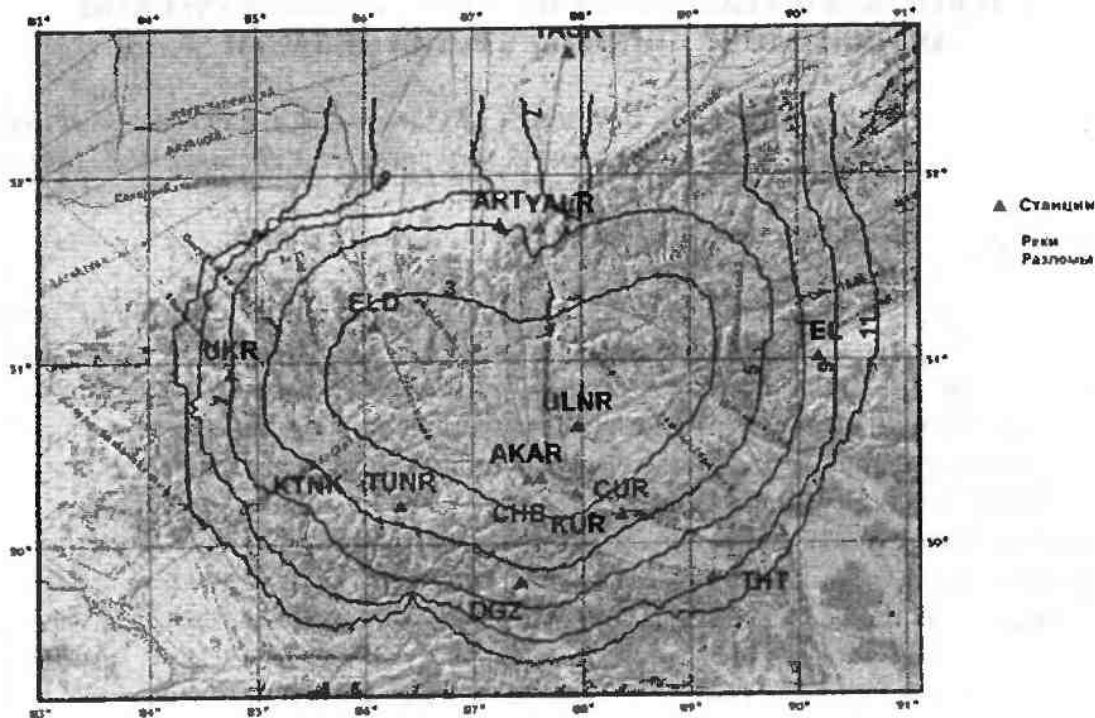


Рис. 1. Б - карта точности определения координат эпицентров землетрясений.

В 2001 г. аналоговая аппаратура на ранее упомянутых сейсмических станциях была заменена на цифровую. Далее развитие стационарной сети полигона выглядело следующим образом (рис. 1). В 1998 г. восстановлена законсервированная станция Тюнгур, в 2001 г. она переоснащена цифровой аппаратурой. В октябре 2001 г. была основана сейсмологическая станция Кайтанак. В 2002 г. были проведены работы, которые можно рассматривать как начало функционирования Алтайского сейсмологического полигона. На территории полигона начали работать новые цифровые сейсмологические станции (рис.1): Улаган, Чаган-Узун, Яйлю и Эланда. Станции Акташ и Артыбаш были переоборудованы как базовые пункты для небольших экспедиционных работ в зоне полигона.

В 2002 г. были организованы первые экспедиционные работы по изучению землетрясений малых энергий в районе Курайского хребта /4/. В 2003 г. развитие сети станций полигона было продолжено. Сейсмическая станция Джазатор запущена в эксплуатацию 20 августа. Через неделю запущена станция Тапанта и летом 2003 г. в окрестности Курайской впадины работала локальная сеть станций, регистрировавшая землетрясения малых энергий в эпицентральной области будущего землетрясения /5/.

Столь быстрое развитие сети сейсмологических станций в эпицентральной области в предшествующий землетрясению период дало уникальную возможность детально анализировать динамику сейсмического процесса перед землетрясением и в момент сейсмической активизации.

С 1 октября 2003 г. в эпицентральной зоне вновь развернута временная сеть станций /2/, работавшая полтора месяца, а по окончании работы этой сети две станции - Чибит и Солонешенская - продолжили работу как стационарные пункты сети полигона. Эти станции расположены в непосредственной близости от структур, охваченных афтершоковым процессом, и оказывают значительное влияние на точность построений гипоцентров землетрясений.

На рис. 1а дана карта представительности регистрации землетрясений в зоне Алтайского сейсмологического полигона. Современная сеть станций позволяет вести на территории полигона представительную регистрацию землетрясений четвертого энергетического класса,

в то время как в остальных частях Алтае-Саянской складчатой области представительной является регистрация землетрясений в лучшем случае с седьмого энергетического класса. Отметим, что при расчете карт представительности регистрации землетрясений и точности построения координат эпицентров (рис. 1б) не учитывались запущенная в работу станция Джазатор и другие станции, открытые в 2003 г. Как мы видим, Алтайский сейсмологический полигон в данном регионе является участком с повышенной представительностью регистрации землетрясений и точностью определения координат эпицентров.

При формировании сети станций Алтайского сейсмологического полигона учитывались результаты работы [3], согласно которым в Алтае-Саянской зоне возле крупных впадин наблюдается повышенная сейсмичность. Сейсотектонические процессы вокруг впадин - важная деталь геодинамики Алтая. Сеть станций полигона полностью охватила две небольшие впадины (Курайскую и Чуйскую), вокруг которых отмечается повышенная сейсмичность, а также западное обрамление Тувинской котловины - Шапшальский хребет.

Сейсмическая активизация, вызванная Чуйским землетрясением, только началась, и рано еще говорить обо всех деталях и особенностях ее протекания, но некоторые важные черты уже можно отметить.

Начнем с взгляда на сейсмичность предыдущих лет. Для анализа сейсмичности Алтае-Саянского региона и обоснования места размещения сейсмологического полигона воспользуемся идеологией, изложенной в работе [3]. Анализ будем проводить на основе карты эпицентров землетрясений за один год (на примере 1997 г.). При рассмотрении землетрясений Алтае-Саянской области за год предположим, что наиболее сейсмоактивные структуры проявляют свои особенности в этом временном интервале в достаточной мере, а в целом каталог региона за инструментальный период обладает избыточной информацией для наиболее быстро протекающих тектонических процессов. Информацию о сейсмичности в предыдущие годы можно использовать для оценки устойчивости тектонических процессов во времени. Другими важными элементами для анализа сейсмичности являются рельеф местности и активные разломы [3].

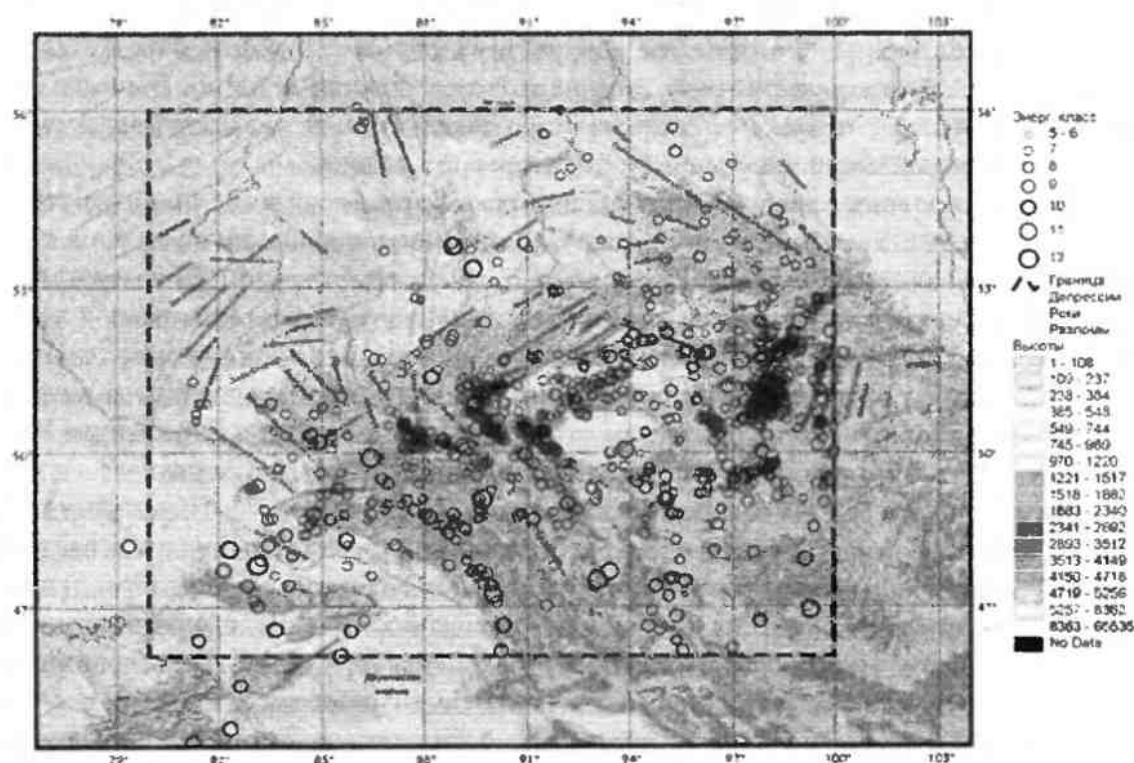


Рис.2 Карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянской горной области за 1997 год

На рис. 2 представлена карта эпицентров землетрясений Алтае-Саянской горной области за 1997 г. Особенностью строения центральной части Алтае-Саянской складчатой области является наличие системы крупных впадин - Тувинской котловины, котловины Убсу-Нур и котловины Больших озер, которые как бы формируют сегмент окружности, разделенный на части узкими хребтами. С выделенной системой впадин связаны наиболее крупные проявления сейсмичности Алтае-Саянской горной страны. Системы горных хребтов разбиты множеством разломов и имеют примерно одинаковые деформационные характеристики, тогда как впадины являются более монолитными и отличающимися от горных хребтов по деформационным характеристикам участками. Такие монолитные участки внутри горной системы должны оказывать сопротивление движению горной системы при наличии воздействия извне. Сопоставление карты эпицентров с рельефом местности и активными разломами позволяет заметить, что все сейсмоактивные зоны Алтае-Саянской области увязываются с системами впадин. Отмеченные крупные впадины являются блоками, вокруг которых происходят крупные землетрясения.

Если горная система вовлекается в движение, то впадины, как инородные тела, оказывают сопротивление, и вокруг них формируется сейсмичность. Сейсмоактивные зоны возникают перед впадиной со стороны движущегося на нее массива (зона сопротивления движению), могут возникнуть внутри нее, когда впадина под внешним воздействием ломается (зона излома), и с противоположной стороны впадины (зона передачи движения).

Рассматривая карту эпицентров землетрясений 1997 г. (рис. 2) можно выделить цепь землетрясений, которая протягивается вдоль Монгольского Алтая через западную границу плато Укок к Катунскому хребту и далее от него к Коксуйскому хребту и прерывается в его северно-западном окончании. В виде области беспорядочно расположенных эпицентров землетрясений, прилегающих к линейной зоне, выглядит район Зайсанской впадины. Отмеченные зоны сейсмичности в соответствии с концепцией тектоники плит можно рассматривать как результат тектонического взаимодействия Тянь-Шаня и Алтая через структуры Джунгарии и Восточного Казахстана. Давление литосферных плит на такую мощную структуру как Алтай на ее границах встречает мощное сопротивление, и часть энергии движения идет на процесс разрушения горных пород и, как следствие, на сейсмичность. Формируется линейная цепь землетрясений вдоль Горного Алтая и Монгольского Алтая - это фактически зона сопротивления движению, передаваемому Алтаю от Тянь-Шаня через монолитную плиту Джунгарской впадины.

Тувинская котловина - самая крупная впадина рассматриваемой зоны. Она выгнута к северу и отделена горными хребтами и системой разломов от мелких впадин с северной стороны и от котловины оз. Убсу-Нур с юга. На карте эпицентров землетрясений 1997 г. можно отметить, что с запада Тувинской котловины весьма активно работала сейсмоактивная зона вдоль Шапшальского хребта с разворотом на севере на Алашское плато. Фактически активизирована область, вплотную прижатая к Тувинской котловине со стороны внешнего воздействия. Данную активную зону можно рассматривать как зону сопротивления движению Тувинской котловины. Изгиб Тувинской котловины сформирован в виде развернутого угла между хребтами Западный и Восточный Танну-Ола. Можно отметить линейную цепь землетрясений, протянувшуюся по борту впадины вдоль хр. Западный Танну-Ола, и далее в месте разворота впадины пересекающую Тувинскую котловину. Отмеченная цепь событий может свидетельствовать о наличии зоны излома в Тувинской котловине, сформировавшейся под давлением с запада. Непосредственно восточное окончание Тувинской котловины высокой сейсмичностью не отличается, но прямо по направлению на восток от впадины расположены две сейсмически активные зоны Бусийгольской впадины и Дархадской котловины. Обе структуры практически перпендикулярны Тувинской котловине. Бусийгольская впадина в этом году характеризуется максимальной сейсмической активностью по сравнению с другими сейсмоактивными участками. В соответствии с выдвинутой гипотезой сейсмические

активизации как Бусийнгольской впадины, так и Дархадской котловины могут быть связаны с движением Тувинской котловины на восток.

Южнее Тувинской котловины располагается впадина Убсу-Нур - вторая по размерам в Алтае-Саянской зоне. В рассматриваемый период почти отсутствуют землетрясения внутри этой впадины. Можно предполагать, что она ведет себя как монолит. На западном фланге впадины работает линейная сейсмически активная зона - зона сопротивления движению. В юго-восточном углу впадины зарегистрировано несколько землетрясений с эпицентрами, приуроченными к разлому. Можно предположить существование здесь излома впадины. Как и для Тувинской котловины, восточное окончание впадины Убсу-Нур не сейсмично. Две линейных цепочки землетрясений, параллельных ограничивающей впадину с востока разломной зоне, отчетливо видны на некотором удалении от конца впадины. Первая, более интенсивная, сечет хребты Сенгилен и Хорумнуг-Тайга в зоне их сближения. Вторая формируется южнее Бусийнгольской впадины.

С юга от впадины Убсу-Нур вдоль хребта Ханхухэй проходит мощная разломная зона с множеством ответвлений. Она как бы отсекает расположенную с юга впадину Больших озер и хребта Хангай. Можно видеть, что эпицентры землетрясений приурочены к ответвлениям от основной зоны, а сама она не сейсмична. Такая особенность должна объясняться особенностями тектонических движений вдоль отмеченной системы разломов. Впадина Больших озер и подпирающий ее горный массив Хангай как бы отрезаны от потока движения горных масс и сейсмические процессы в этой системе идут с меньшей скоростью и интервал в один год может оказаться для освещения механизмов сейсмичности этой зоны недостаточным.

Еще одна проявившая себя за год сейсмоактивная область - зона Курайского хребта. Это зона двух впадин: Курайской и Чуйской. Отметим, что на Алтае имеются и другие впадины, но в сейсмичности за год заметно проявляются только эти две.

Подводя итог изучению землетрясений 1997 г. в Алтае-Саянской области, можно отметить, что в этот короткий интервал времени, не отмеченный крупными землетрясениями, проявили себя в сейсмическом режиме процессы, протекающие около впадин. Прежде всего, это Тувинская котловина, котловина Убсу-Нур и северная часть впадины Больших озер. Система этих впадин как бы клином рассекает центр Алтае-Саянской области. Можно предположить, что данные впадины являются препятствием на пути медленных перемещений горных масс от Тянь-Шаня через Алтай к Байкалу и с ними связано формирование быстро проявляющихся себя в сейсмичности тектонических процессов. Чуйская и Курайская впадины являются внутренними структурами Горного Алтая. Вокруг этих впадин также идут тектонические процессы, проявляющие себя в сейсмичности за год. Две отмеченные впадины явно выделяются среди других по проявлению в сейсмичности. О причинах повышенной сейсмичности вокруг этих сравнительно маленьких впадин можно лишь высказывать предположения. Согласно существующим представлениям /6/, Алтай испытывает горизонтальное воздействие, ориентированное субмеридианально. Если рассматривать систему крупных впадин (Тувинская, Убсу-Нур), то по проявлению сейсмичности (рис. 2) можно говорить об отклонении направления движения блоков земной коры к востоку. Не исключено, что тектонические процессы, протекающие в окрестности Курайской и Чуйской впадин, играют заметную роль в изменении направления движения плит на Алтае. Этим может объясняться яркость и быстротечность сейсмического процесса на этом участке Алтая. Как было показано в работе /3/ отмеченные закономерности повторяются из года в год, варьируясь в малых деталях.

Переходя к анализу Чуйского землетрясения и развития его афтершокового процесса, вначале уделим внимание тому, что происходило в Чуйско-Курайской зоне до 27 сентября 2003 г. Сейсмический режим Чуйско-Курайской зоны в последние сорок лет имел

следующие особенности /2/. Во-первых, крупных землетрясений с энергетическими классами  $K \geq 12$  в этой зоне не наблюдалось. Во-вторых, по количеству землетрясений с энергией менее двенадцатого класса эта зона ярко высвечивалась в структуре Алтас-Саянской горной области как район с быстропротекающим сейсмотектоническим процессом. В-третьих, сейсмические события в основном концентрировались вокруг впадин.

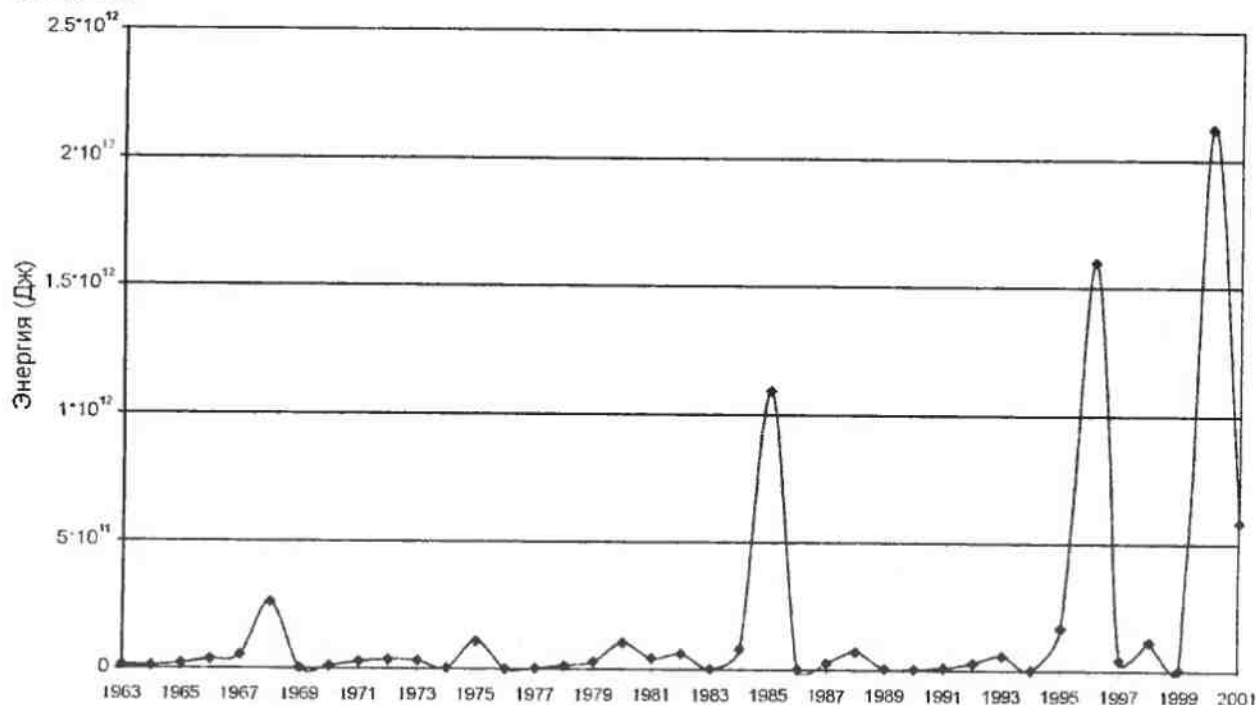


Рис. 3 Изменение во времени суммарной сейсмической энергии в Чуйско-Курайской зоне. Один отчет - суммарная энергия за год.

На рис. 3 дан график изменения во времени суммарной сейсмической энергии, выделившейся в Чуйско-Курайской зоне. Для подсчета энергии был выделен прямоугольный участок, охватывающий Курайскую и Чуйскую впадины, Чаган-Узунский приподнятый блок, Северо-Чуйский, Южно-Чуйский и Курайский хребты. Каждая точка на графике - суммарная сейсмическая энергия за год в отмеченной зоне. График заканчивается 2001 годом. Этот год на сегодняшний день последний, для которого имеется выверенный (окончательный по стандартной обработке) каталог землетрясений Алтая. На протяжении многих лет значение суммарной сейсмической энергии не превышало  $3 \cdot 10^{11}$  джоулей. За всю историю инструментальных наблюдений зафиксировано три года с повышенной суммарной сейсмической энергией: 1985 г. - суммарная энергия равна  $1 \cdot 10^{12}$ , 1996 г. - энергия равна  $1,5 \cdot 10^{12}$  и 2000 г. - энергия  $2 \cdot 10^{12}$ . Серия событий 1996 г. рассматривалась А.Г. Филиной как Акташский рой землетрясений /7/. Три года с повышенной энергией в сорокалетнем ряду инструментальных наблюдений выглядят как некоторое заблаговременное предупреждение о грядущей сейсмической активизации.

В 1985 г. наибольший вклад в повышенное значение энергии внесло одно землетрясение в горном обрамлении юго-восточного угла Чуйской впадины. В этом году достаточно активен Чаган-Узунский блок и цепь землетрясений малых энергий проходит вдоль всего Курайского хребта. Небольшое количество слабых событий приурочено к Чуйским хребтам.

В активизации 1996 г. нет крупных землетрясений. Большое количества близких по энергии землетрясений делают год аномальным по выделившейся сейсмической энергии. Особой активностью отличаются периметр Чаган-Узунского блока и Курайский хребет.



Данную активизацию вполне обосновано можно рассматривать как рой землетрясений в эпицентральной области будущего крупного землетрясения за семь лет до главного толчка.

Аномалия 2000 г., прежде всего, связана с землетрясением двенадцатого энергетического класса на стыке Чаган-Узунского блока с Северо-Чуйским хребтом. Повышенная сейсмичность в данном случае присуща Чаган-Узунскому блоку и Курайскому хребту с максимумом активности в районе, прилегающем к п. Акташ. Двенадцатый класс для рассматриваемой зоны - "новинка" за инструментальный период.

В 2001 г. суммарная энергия существенно снижается в сравнении с предыдущим годом, но остается выше обычного фона. Наиболее сильные землетрясения этого года сосредоточены на Курайском хребте в районе п. Акташ и в горном обрамлении юго-восточного окончания Чуйской впадины. Землетрясения малых энергий (до  $K=8$ ) цепью проходят по Курайскому хребту и заполняют Чаган-Узунский блок, охватывая зону соприкосновения с этим блоком в Северо-Чуйском хребте.

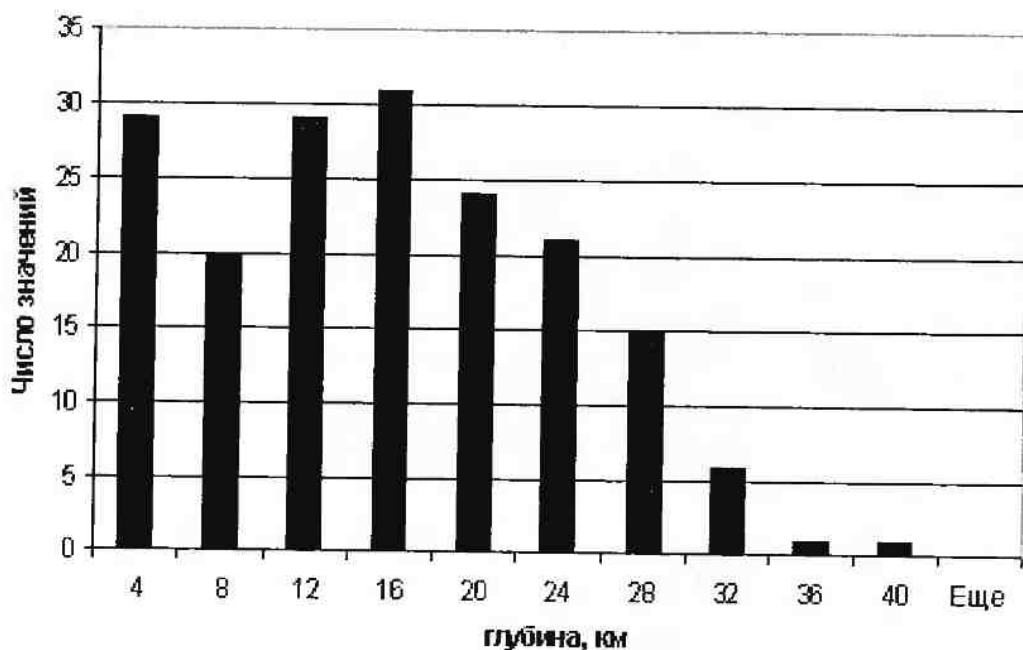
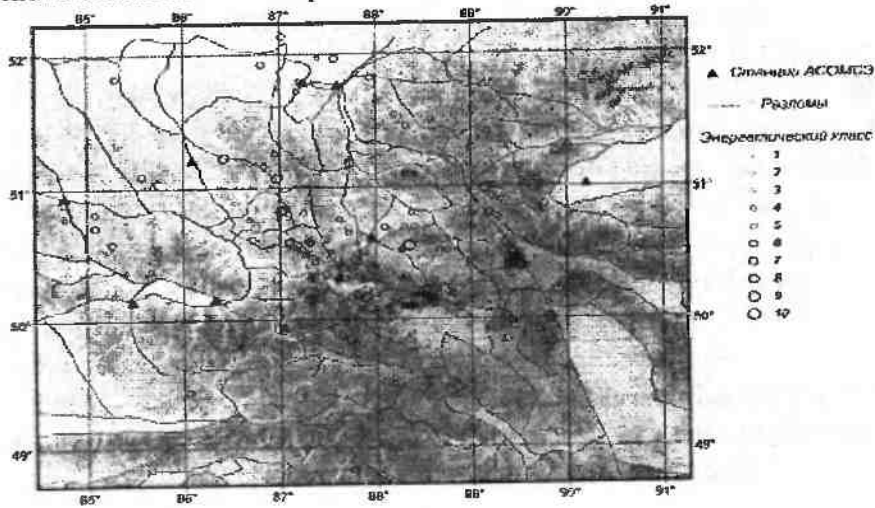


Рис. 4. Глубины очагов землетрясений на территории Алтайского сейсмологического полигона по результатам полевых работ 2002-2003гг. до Чуйского землетрясения.

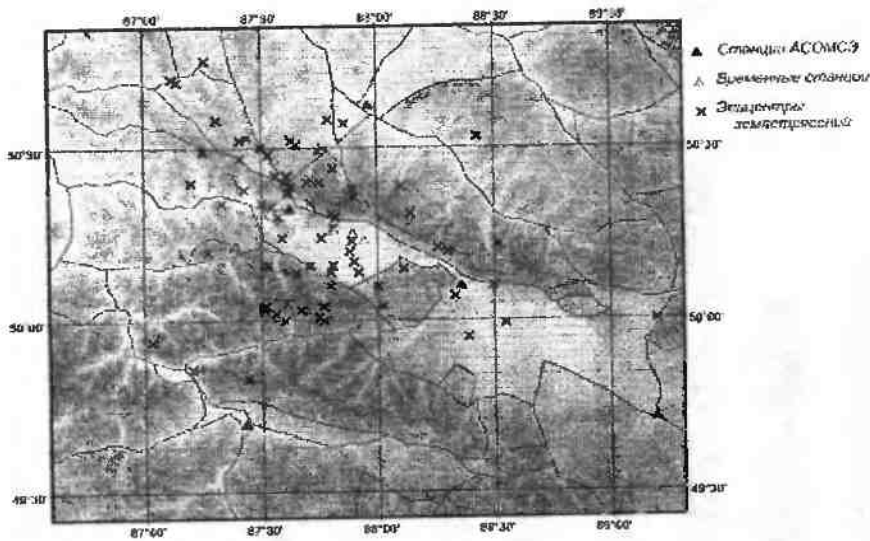
Начиная с 2002 г. окончательный каталог событий на сегодняшний день не сформирован, и мы будем пользоваться картами событий, охватывающими наиболее интересные по особенностям проявления сейсмичности интервалы 2002-2003 гг. В 2002 г. с августа по ноябрь в Чуйско-Курайской зоне наблюдалась сейсмическая активизация. В этот период в Курайской впадине была развернута локальная сеть, позволяющая получить данные по координатам эпицентров на новом уровне точности, и впервые появилась информация о глубинах землетрясений в Чуйско-Курайской зоне /4/. На рис. 4 дана информация о глубинах очагов землетрясений, происходивших в районе Алтайского сейсмологического полигона в 2002-2003 гг. (до Чуйского землетрясения). Наибольшее число землетрясений принадлежит интервалу глубин 12-16 км. Сейсмический процесс в основном сосредоточен в верхней части земной коры. Примечательным является наличие второго максимума в распределении глубин землетрясений на значении 4 км. Сейсмический процесс в данной зоне значителен в

самых верхних слоях земной коры.

А)



Б)



В)

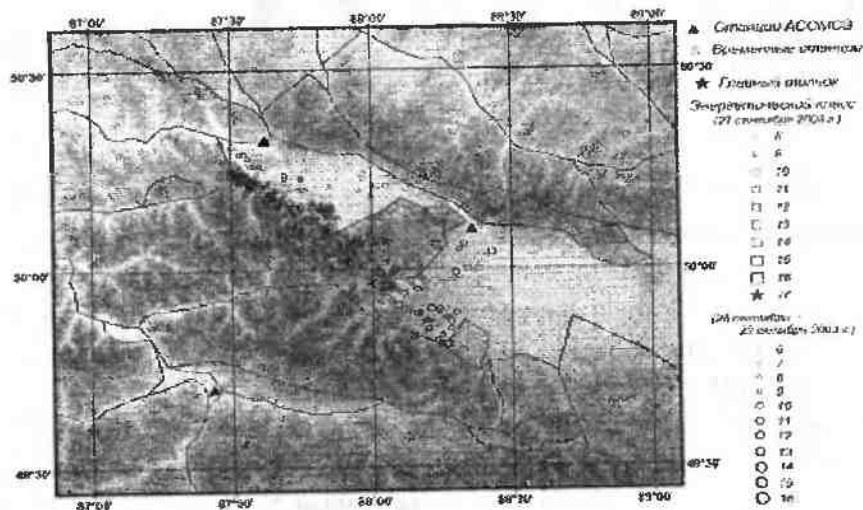


Рис.5 Развитие сейсмического процесса в зоне Чуйского землетрясения

А). Карта эпицентров землетрясений в период сейсмической активизации 2002 г. (с 3 августа по 30 октября).

Б). Карта эпицентров микроразрывов в период сейсмического затишья. Интервал наблюдений с 10 августа по 10 сентября 2003 г.

В). Чуйское землетрясение и его афтершоки. Интервал наблюдений с 27 сентября по 22 октября 2003 г.

Рис. 5 дает сравнение сейсмических процессов в рассматриваемой зоне в разные периоды наблюдений. Во второй половине 2002 г. в зоне будущего крупного землетрясения отмечается сейсмическая активизация. На рис. 5а представлена карта эпицентров для периода с 3 августа по 30 октября 2002 г. В 2003 г. наблюдается затишье вплоть до главного толчка. Рис. 5б представляет карту эпицентров землетрясений малых энергий с 10 августа по 10 сентября 2003 г.

На рис. 5в отмечено положение главного толчка и его афтершоков. Эпицентр главного толчка приурочен к разлому, являющемуся границей между Чаган-Узунским блоком и Северо-Чуйским хребтом. Сейсмические события первого дня главным образом происходят по периметру Чаган-Узунского блока, а в последующие дни наблюдается распространение афтершоков в стороны от него по линейному разлому по юго-западным границам Курайской и Чуйской впадин.

Из рис. 5б видно, что в период затишья в Чаган-Узунском блоке практически отсутствуют даже слабые толчки. Большая часть землетрясений локализуется в овальной области, начинающейся в Северо-Чуйском хребте, охватывающей всю Курайскую впадину и заканчивающейся в северо-западном окончании Курайского хребта. Интересным является то, что Курайская впадина заполнена сейсмическими событиями, и землетрясения образуют линейные цепи.

Сейсмическая активизация, наблюдавшаяся в рассматриваемой зоне в 2002 г. (рис. 5а) по особенностям пространственного размещения эпицентров существенно отличается от структуры афтершокового процесса (рис. 5в). Сейсмическую активность проявлял весь Курайский хребет. Высокая концентрация эпицентров наблюдалась в юго-западном углу Курайской впадины, и далее цепь событий тянулась из этого угла, окаймляя Чаган-Узунский блок с трех сторон. Примечательно, что зона будущего толчка была свободна от эпицентров, а также не было землетрясений по линейной зоне, участвующей в последующем афтершоковом процессе. Активизация имела ореол событий, по размерам в два-три раза превышающий ее диаметр.

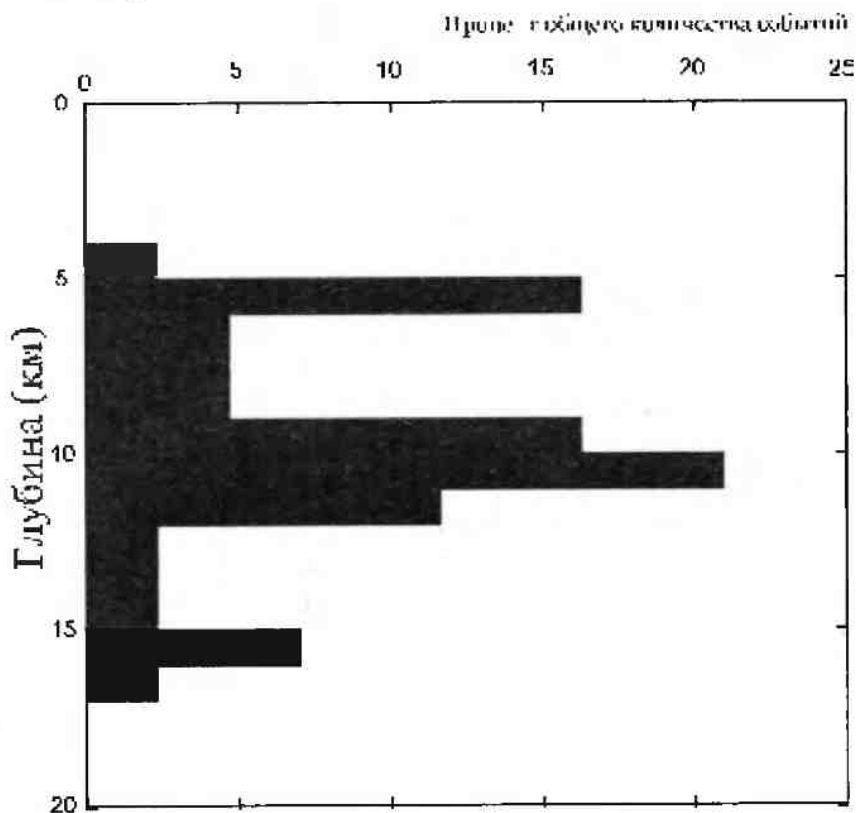


Рис.6. Распределение гипоцентров афтершоков по глубине.

На рис. 6 представлен результат изучения глубин афтершоков по произвольной выборке из пятидесяти событий. Глубины афтершоков ограничены интервалом от четырех до шестнадцати километров. Наибольшее число афтершоков произошло в интервале глубин от девяти до одиннадцати километров. Достаточно ярко выраженный максимум соответствует глубинам гипоцентров в пять-шесть километров, небольшой максимум соответствует глубинам около пятнадцати километров. Таким образом, сейсмическая активизация протекает в верхней части земной коры.

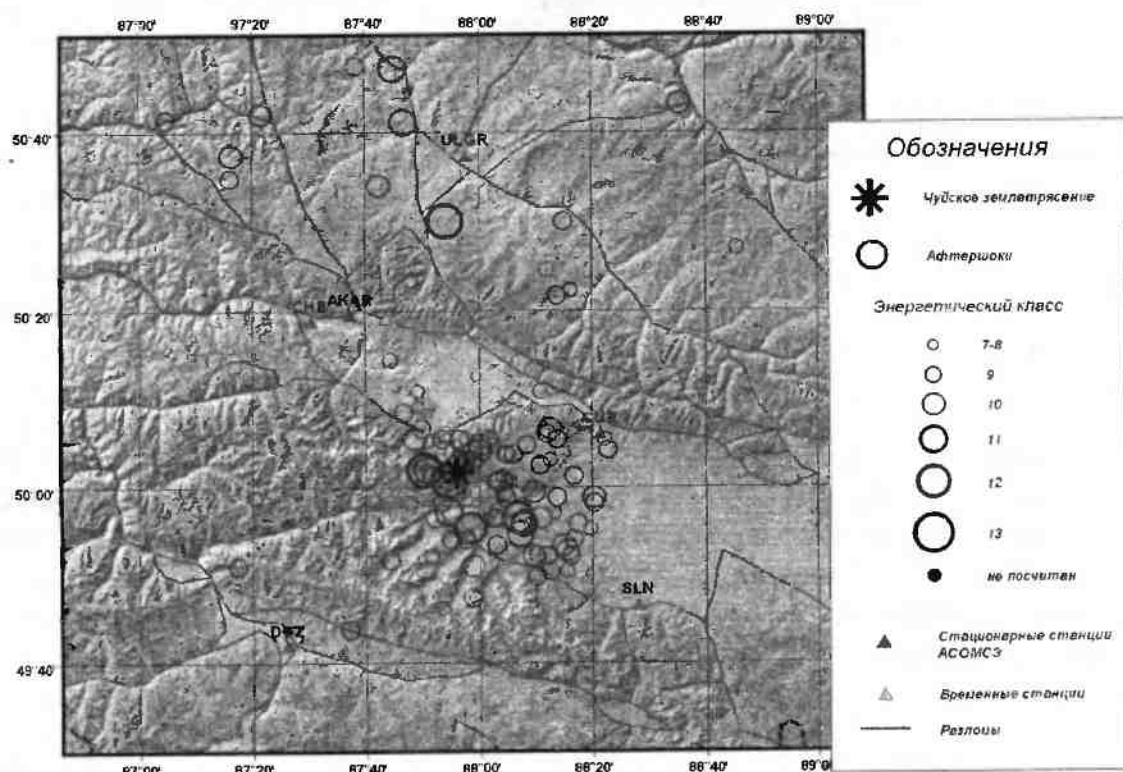


Рис.7 Карта эпицентров землетрясений в первые 2 часа после главного толчка Чуйского землетрясения. Полная обработка.

Представленные об афтершоковом процессе данные являются выборкой из числа наиболее крупных событий. Полная обработка афтершоков - трудоемкий процесс и анализ результатов может быть дан несколько позднее. В данный момент более или менее полно обработан двухчасовой интервал с момента главного толчка. На рис. 7 приведена карта эпицентров землетрясений, произошедших за первые два часа после главного толчка. Особенности афтершокового процесса существенно отличны от представленного на рис. 5в. Основная масса событий приурочена к Чаган-Узунскому блоку. Можно выделить вытянутое облако эпицентров, примыкающих к главному толчку. Ориентация облака перпендикулярна разломной зоне на границе Чаган-Узунского блока с Северо-Чуйским хребтом. Другая группа событий концентрируется внутри Чаган-Узунского блока, примыкая к границе с Чуйской впадиной. Две цепи землетрясений проходят по Чуйской впадине, изгибаясь вокруг границы с Чаган-Узунским блоком. В рассматриваемый период "молчит" обычно активный Курайский хребет. Эпицентры достаточно крупных землетрясений рассредоточены в обширной зоне с центром, тяготеющим к р. Улаган. Землетрясения небольшой энергии отмечаются в Южно-Чуйском хребте вплоть до долины р. Джазатор.

Представленные материалы позволяют сформировать предварительные представления об

особенностях сейсмотектонических процессов, происходивших в зоне Чуйского землетрясения:

1. Чуйскому землетрясению 27 сентября 2003 г. предшествовали сейсмические активизации в 1985 г., в 1996 г., в 2000 г., во второй половине 2002 г. и сейсмическое затишье в 2003 г.

2. В 1985 г. наибольший вклад в повышенное значение выделившейся энергии внесло одно землетрясение в горном обрамлении юго-восточного угла Чуйской впадины. В этом году достаточно активен Чаган-Узунский блок.

3. В 1996 г. наблюдается активизация Чаган-Узунского блока и Курайского хребта в зоне, граничащей с одноименной впадиной в виде роя землетрясений.

4. В 2000 г. практически в эпицентре будущего Чуйского землетрясения произошло землетрясение двенадцатого энергетического класса. Это крупнейшее событие за инструментальный период в рассматриваемой структуре.

5. Сейсмическая активизация 2002 г. проявилась на большей площади, чем афтершоковый процесс Чуйского землетрясения, и имела ореол событий вокруг себя. По-видимому, в рассматриваемой зоне происходила релаксация напряжений в виде распределенного по большой площади не очень интенсивного сейсмического процесса.

6. Сейсмическое затишье, природа которого остается загадочной и по отношению к другим крупным землетрясениям, характеризуется упорядоченной структурой микроземлетрясений. Отмечаются линейные цепочки событий по Курайской впадине. Можно предположить, что даже мощный блок впадины начинает "трещать" под тектоническим воздействием окружающих его горных блоков.

7. Чуйское землетрясение произошло на юго-западной границе Чаган-Узунского блока. В этой зоне не было землетрясений при сейсмической активизации 2002 г., и не было микроземлетрясений в период затишья. Афтершоки охватили структуры, которые не активизировались в 2002-2003 гг. Разрядка напряжений с разрушениями геологической среды произошла не по тем структурам, которые "трещали" в предшествующий Чуйскому землетрясению период.

8. В начальной стадии афтершокового процесса выделяются две фазы развития: первая связана с процессами вокруг Чаган-Узунского приподнятого блока, вторая - с линейной зоной вдоль юго-западной границы Курайской и Чуйской впадин.

9. В первые сутки после главного толчка работала мощнейшая серия афтершоков по периметру Чаган-Узунского блока. Отмечается разрушительное влияние процесса на северо-западное окончание Чуйской впадины. Подвижка на одном крае блока привела к разрядке созданных напряжений по всему периметру. Новое положение блока повысило напряжения в соседних структурах.

10. В последующие сутки афтершоковый процесс начал распространяться от Чаган-Узунского блока по разломам, идущим вдоль юго-западной границы Курайской и Чуйской впадин. Сформировалась линейная зона афтершоков. Сейсмический процесс по периметру Чаган-Узунского блока при этом затих. Если Чуйская впадина оказалась лишь слегка вовлечена в афтершоковый процесс, то Курайская испытывает мощнейшую активизацию всей юго-западной границы с Северо-Чуйским хребтом. На данной стадии происходило изменение соседних с Чаган-Узунским блоком структур.

Весьма интересным является вопрос о том, как долго будет развиваться во времени рассматриваемая сейсмическая активизация. Землетрясения с магнитудами 6-7 в Алтае-Саянской области всегда приводили к мощному афтершоковому процессу длительностью от пяти до двенадцати лет [3]. Безусловно, каждое крупное землетрясение имеет свой сценарий развития [5], но можно не сомневаться, что сейсмическая активизация Чуйско-Курайской зоны будет длиться не один год.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума СО РАН (Интеграционные

### Л и т е р а т у р а

1. Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Новиков И.С., Гибшер А.С., Высоцкий Е.М., Агапова А.Р., Дядьков П.Г., Фатеев А.В., Кашун В.Н., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В., Янкайтис В.В., Ярыгина М.А. Чуйское землетрясение 2003 года ( $M=7.5$ ) // Вестник отделения наук о Земле РАН. - № 1(21). - 2003. Электронный научно-информационный журнал. Опубликовано 30 октября 2003 г. // [www.segis.ru/russian/cr1251/h\\_dgggms/1-2003/scsrp-7.pdf](http://www.segis.ru/russian/cr1251/h_dgggms/1-2003/scsrp-7.pdf)
2. Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Фатеев А.В., Колесников Ю.И., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В., Ярыгина М.А. Чуйское землетрясение и его афтершоки. // ДАН, Т. 395. - № 4. - 2004. - С. 1-4.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Кунгурцев Л.В., Лескова Е.В., Шейкина Ж.В., Ярыгина М.А. Пространственно-временной анализ сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия: Материалы международной геофиз. конф., г. Новосибирск, 15-19 сент. 2003 г. - Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. - С. 73-86.
4. Еманов А.Ф., Колесников Ю.И., Еманов А.А., Филина А.Г., Подкорытова В.Г., Фатеев А.В., Ярыгина М.А. Изучение землетрясений малых энергий на локальной сети Алтайского сейсмологического полигона // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы: Труды Всерос. Совещания, г. Иркутск, 26-29 авг. 2003 г. - Изд-во СО РАН, филиал "ГЕО", 2003. - С. 324-326.
5. Еманов А.Ф., Колесников Ю.И., Селезнев В.С., Еманов А.А., Филина А.Г., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Болдырев М.А., Кабанник А.В., Корабельщиков Д.Г., Лескова Е.В., Янкайтис В.В., Ярыгина М.А. Алтайский сейсмологический полигон: начальный этап становления и первые результаты // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия: Материалы международной геофиз. конф., г. Новосибирск, 15-19 сент. 2003 г. - Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. - С.138-144.
6. Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии). М.: Изд-во МГУ, 1996. - 448 с.
7. Филина А.Г. Алтай и Саяны // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. М.: ГС РАН, 2002. - С. 76-80.
8. Алексеев А.С., Гольдин С.В., Дядьков П.Г., Еманов А.Ф., Лиси К.Г., Макаров П.В., Назаров Л.А., Опарин В.Н., Орлов В.А., Ружич В.В., Саньков В.А., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Суворов В.Д., Татьков Г.И., Тимофеев В.Ю., Шерман С.И. Стратегия прогноза землетрясений на геодинамических полигонах. // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы: Труды Всерос. совещания, г. Иркутск, 26-29 авг. 2003 г. - Изд-во СО РАН, филиал "ГЕО", 2003. - С. 11-15.

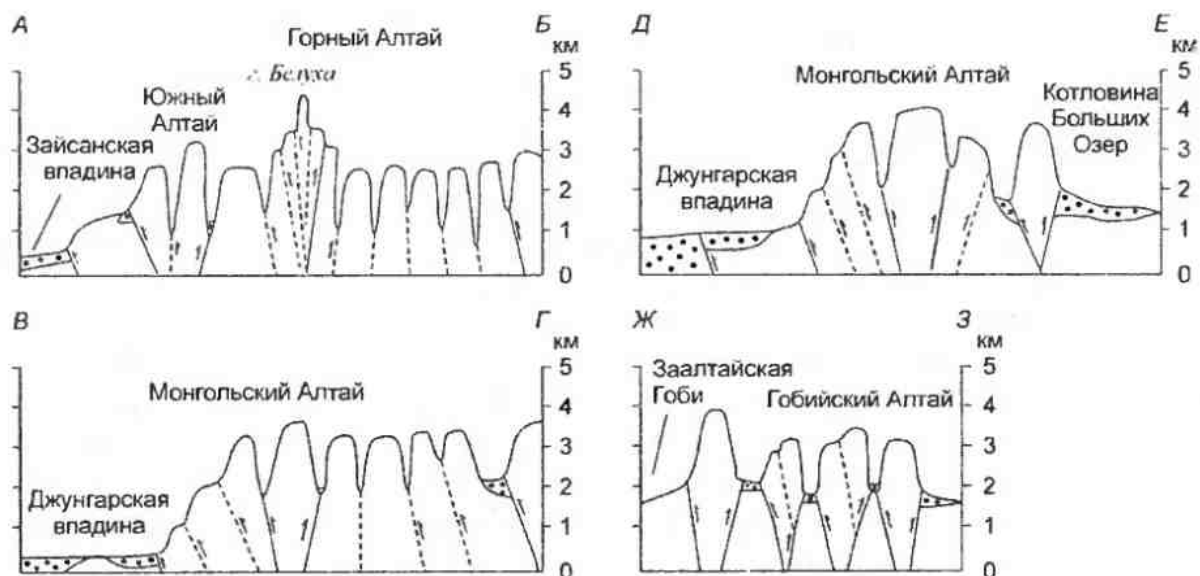
# СДВИГОВАЯ МОДЕЛЬ НЕОТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АЛТАЯ, И ЕЕ ПРОВЕРКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ 2003 Г.

И.С.Новиков<sup>1</sup>, А.Ф.Еманов<sup>2</sup>, А.А.Еманов<sup>2</sup>, Е.В.Лескова<sup>2</sup>,  
А.Р.Агатова,<sup>1</sup> Е.М.Высоцкий,<sup>1</sup> Е.В.Деев<sup>1</sup>

1 Институт геологии СО РАН,  
2 Алтае-Саянский филиал, Геофизическая служба СО РАН

*Теоретические модели* любых явлений имеют основным отличием от *эмпирических моделей* то, что они не просто увязывают совокупность наблюдаемых реперных фактов, как это делают последние, а формулируют совокупность законов, частными проявлениями которых являются наблюдаемые факты. Это различие, не всегда отчетливо осознаваемое исследователями, является фундаментальным. Эмпирические модели не могут быть ни подтверждены, ни опровергнуты. Они не обладают предсказательной силой и заменяются новыми при появлении существенных массивов новых реперных фактов, идущих вразрез с существующей теорией. Теоретические модели, напротив, обладают широкими предсказательными возможностями. Они позволяют генерировать новые реперные факты - т.е. описывать особенности отдельных явлений до того как они будут реально выявлены. Это позволяет проверять теоретические модели "на прочность". Процедура эта носит название "фальсификации" и связана с тем, что если вновь выявленные факты совпадают со сделанными в рамках теоретической модели прогнозами, это не служит окончательным подтверждением (верификацией) использованной модели. Но, напротив, резкое (выходящее за рамки простой погрешности наблюдения) расхождение однозначного прогноза и реально наблюдаемых фактов служит *приговором* теоретической модели, окончательным и не подлежащим обжалованию. Иными словами: *доказать* правильность теоретической модели не представляется возможным, но *опровергнуть ее* (в случае ее полной ошибочности или просто ограниченности) *можно вполне однозначно*.

Относительно недавно нам удалось разработать теоретическую модель морфотектоники (новой тектоники, выраженной в геоморфологической структуре) Большого Алтая [1,2,3]. Это первая модель такого рода для этой обширной территории. Все предшествующие модели носили выраженный эмпирический характер и, соответственно, не предусматривали возможности прогноза. Одновременно это исключает и возможность их опровержения.



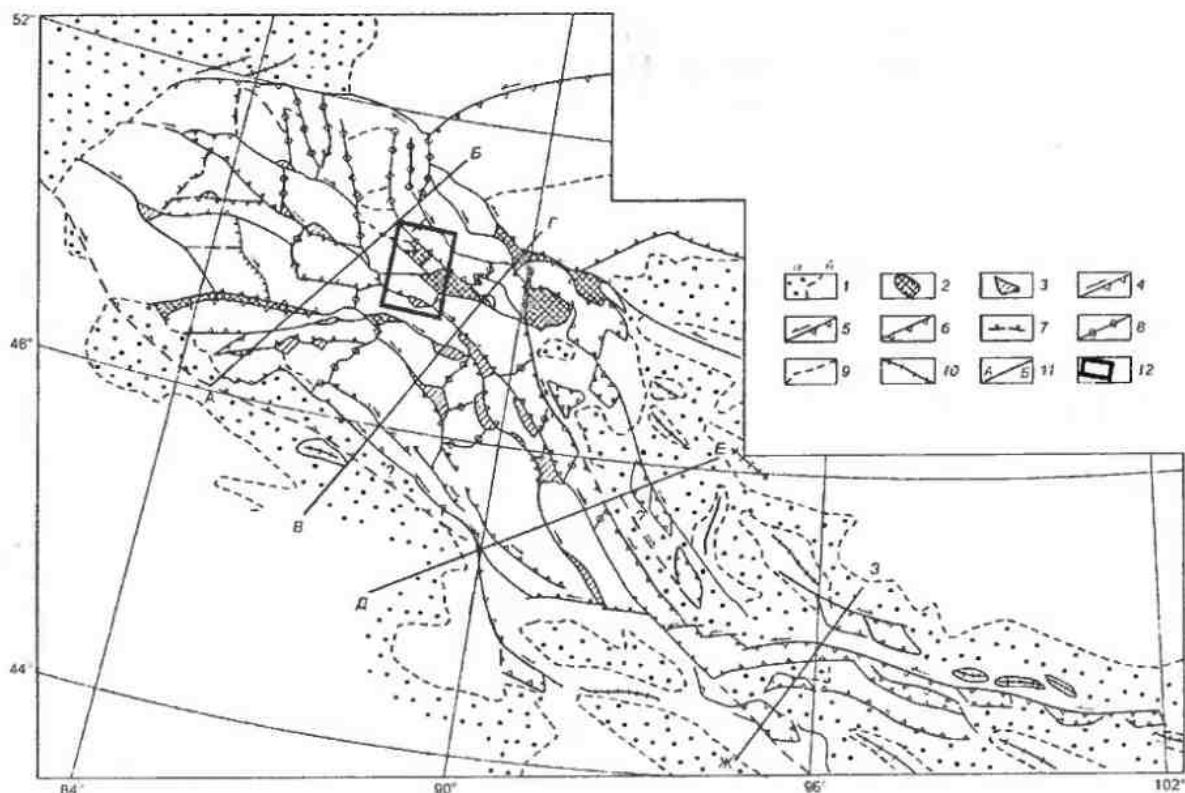


Рис. 1. Неотектоническая схема Большого Алтая

1 - блоки обрамления: выступы палеозоя (а), впадины с мезокайнозойским чехлом (б), 2-3 - новейшие впадины в пределах мобильной зоны Алтая: 2 - позднеолигоценового заложения, 3 - поздненеогенового заложения; 4-8 - новейшие разрывные нарушения: 4 - правые взбросо-сдвиги, 5 - левые взбросо-сдвиги, 6 - взбросы, 7 - сбросы, 8 - раздвиги; 9 - границы мезокайнозойских впадин не связанные с разломной тектоникой, 10 - новейшие валы вытирания, 11 - линии профилей, 12 - участок, показанный на рис. 2.

В общих чертах предложенная модель сводится к тому, что Алтай в новейшей структуре Центральной Азии представляет собой мобильную зону первого порядка, разделяющую Джунгарскую и Тувино-Монгольскую микроплиты и ограниченную с севера Западно-Сибирской микроплитой. Горообразование на территории Алтая носит транспрессионный характер и связано со сближением этих микроплит. Многочисленные факты свидетельствуют, что это сближение происходит с правым сдвигом и, соответственно, все основные новейшие разрывные структуры, простирание которых совпадает с общим простиранием мобильной зоны, также имеют сдвиговой характер. Поскольку одновременно происходит сокращение и утолщение земной коры в перпендикулярном простиранию направлении, в большинстве своем эти магистральные структуры имеют выраженную взбросовую составляющую, которая и обуславливает высотную дифференциацию блоков и формирование горного рельефа синхронного новейшей активизации.

Магистральные сдвиговые структуры опережаются локальными зонами растяжения. В связи с этим большинство блоков Алтая имеют ромбовидную в плане и клиновидную в разрезе форму. По линейным размерам и абсолютным высотам ограниченные кайнозойскими разломами блоки Алтая отчетливо разделяются на ряд групп, что связано с их позицией в морфотектонической структуре Алтая. Распределение неотектонических блоков по длине и ширине имеет два пика. Первый образует подавляющее большинство элементов, линейные размеры которых имеют нормальное распределение. Вторым



образован малочисленной группой аномально длинных и широких объектов. По нашему мнению, это области с не оформившейся еще блоковой структурой, недавно вовлекшиеся в воздымание. Расположены они на северо-западной и юго-западной окраинах Алтая. Распределение блоков по высоте образует три отчетливые ступени. Самая малочисленная имеет высоты в диапазоне 500-1500 м. Ее образуют вышеупомянутые элементы, имеющие необычно большие линейные размеры. Вторая и третья группа образованы элементами с высотами 1500-3000 м и 3000-4000 м. Последняя группа является наиболее многочисленной. Абсолютные высоты блоков стандартной конфигурации (длина 50-175, ширина 25-50 км) никак не коррелируются с абсолютными высотами. Это связано, вероятно, с неодновременностью вовлечения блоков в поднятие. Отсутствие блоков с усредненными высотами более 4000 м говорит о наличии лимитирующего фактора. Можно предположить, что сжимающее усилие в регионе недостаточно для обеспечения "выдавливания" клиновидных в поперечном разрезе блоков определенных размеров и конфигурации на большую высоту.

По форме, размеру и характеру границ между блоками территория не вполне однородна. Это позволяет выделить в новейшей структуре территории фронтальную зону, зоны правого и левого фланга, и тыловую зону (рис. 1).

Фронтальная (Джунгарская) зона расположена на границе с Джунгарской микроплитой. Пространственно она совпадает с юго-западным макросклоном Монгольского Алтая, расположенным на территории Китая. Фронтальная зона образована всего несколькими крупными блоками. В кайнозойское время в пределах этой зоны была сформирована чешуйчатая структура за счет последовательного вовлечения в воздымание периферических частей пододвигающейся под Алтай Джунгарской микроплиты. Поперечное сечение макросклона хребта имеет ступенчатый профиль, где площадки ступеней образованы участками умеренно измененного доорогенного рельефа, а уступы соответствуют фронтальным частям взбросов и надвигов. Поскольку Джунгарская плита перемещается к северо-западу по отношению к Алтаю, там фиксируются и сдвиговые составляющие перемещений по основным разломам.

Тыловая (Монгольская) зона является областью ярко выраженных правосдвиговых перемещений. Именно в ее пределах сосредоточены основные амплитуды сдвиговых перемещений при "косой коллизии" Тувино-Монгольской и Джунгарской микроплит. Вертикальная дифференциация рельефа в ее пределах минимальна. Большая часть блоков имеет сходные абсолютные высоты и лишь несколько погружены за счет надвигания на них соседних блоков и образуют межгорные впадины. Территориально зона охватывает северо-восточный макросклон Монгольского и юго-восточную часть Русского Алтая. В пределах зоны земная кора раздроблена на многочисленные ромбовидные в плане блоки, ограниченные протяженными сдвиговыми зонами северо-западного простираения и локальными зонами растяжения северо-восточной и восточной ориентации. Расположенные между двумя соседними сдвиговыми зонами цепочки блоков образуют зоны линейного коробления. Зона образована при дроблении Тувинской и Монгольской микроплит. Судя по тому, что в пределах отделяющей ее от Хангайского поднятия Котловины Больших Озер происходит формирование цепочек хребтов, сходных по механизму орогенеза и морфологии с морфотектоническими единицами зоны, происходит ее наращивание за счет дробления примыкающих к ней микроплит.

Правофланговая (Горноалтайская) зона включает в себя северную часть Русского Алтая. В ее пределах происходит поворот основных правосдвиговых зон Монгольского Алтая к западу. Это связано с близостью Западно-Сибирской плиты, которая не позволяет происходить сдвиговым перемещениям, и только незначительная часть горизонтальных

амплитуд гасится за счет надвигания по "фасу Алтая" на Бийско-Барнаульскую впадину, а большая часть горизонтальной амплитуды перемещения компенсируется поворотом правофланговой зоны против часовой стрелки. При этом в загнутых к западу окончаниях сдвиговых зон преобладают уже взбросовые подвижки. Блоки в этой зоне имеют разнообразную в плане форму, а на границе с Западно-Сибирской плитой расположена зона перехода, представляющая собой крупные слабо раздробленные блоки, отделяющие зоны линейного коробления от прилегающих устойчивых блоков Сибири и Казахстана. В результате поворота сдвиговых структур, в пределах данной зоны, наряду со правосторонними нарушениями, широко развиты области растяжения с которыми связаны сбросы и узкие грабены северного простирания, из которых наиболее известен грабен Телецкого озера.

Левосторонняя (Гобиалтайская) зона включает в себя область левосторонних сдвиговых перемещений, территориально совпадающих с восточным окончанием Монгольского Алтая и Гобийским Алтаем. Левосторонние сдвиги этой зоны сложно взаимодействуют с правосторонне-сдвиговыми структурами, образующими морфотектоническую основу большей части Алтая в районе Барун-Хурайской впадины. Блоки этой зоны пространственно разобщены, имеют форму, абсолютные высоты и линейные размеры, сходные с таковыми у блоков тыловой зоны. Принципиальным отличием является противоположное движение по сдвиговым нарушениям. Рассматриваемая зона формируется в результате перемещения территории Гоби к востоку по отношению к Хангаю и образует область, самостоятельную в геодинамическом отношении по отношению к остальной части Алтая.

Большинство магистральных новейших правых сдвигов Алтая все еще слабо изучены геологическими методами. Их пространственное положение фиксируется нами по геоморфологическим критериям, а характер движения прогнозируется исходя из их позиции в структуре новейших нарушений территории. Таким образом, появление любых новых независимых данных о характере движений по новейшим разломам позволяет легко проверить, насколько хорошо работает предложенная нами модель. Сейсмическая активизация, произошедшая в южной части Горного Алтая осенью 2003 года [4,5] представляет для этого отличную возможность. Эпицентры землетрясений находятся в северной части выделяемой нами Тыловой (Монгольской) морфотектонической зоны, для которой характерна высокая сейсмичность. По инициативе Геофизической службы СО РАН буквально за год до сильных землетрясений в этом районе был развернут сейсмологический полигон, оснащенный сетью новейших сейсмостанций. Сразу после первых толчков сеть была оперативно расширена. В результате, в руках специалистов оказался уникальный по полноте материал, позволяющий с высокой точностью определять как пространственное положение, так и механизм сейсмических толчков [6].

Уже на начальном этапе обработки сейсмических данных было определено, что сейсмической активизации подверглась северо-восточная граница Северо-Чуйского блока, отделяющая его от Курайской впадины (рис 2). Исходя из нашей морфотектонической модели, эта граница имеет характер правого взбросо-сдвига с приподнятым юго-западным крылом. Главное событие произошло между Северо-Чуйским хребтом и Чаган-Узунским блоком. В первый день после начала активизации сейсмичность группировалась вокруг Чаган-Узунского блока [6]. Можно предположить, что в это время происходил проворот этого блока, зажато между Северо-Чуйским и Курайским хребтом. Проворачиваясь, Чаган-Узунский блок одним краем надвигается на Курайскую впадину. На рис. 2. видно, что внутри Курайской впадины вдоль Чаган-Узунского блока образуется небольшая линейная структура.

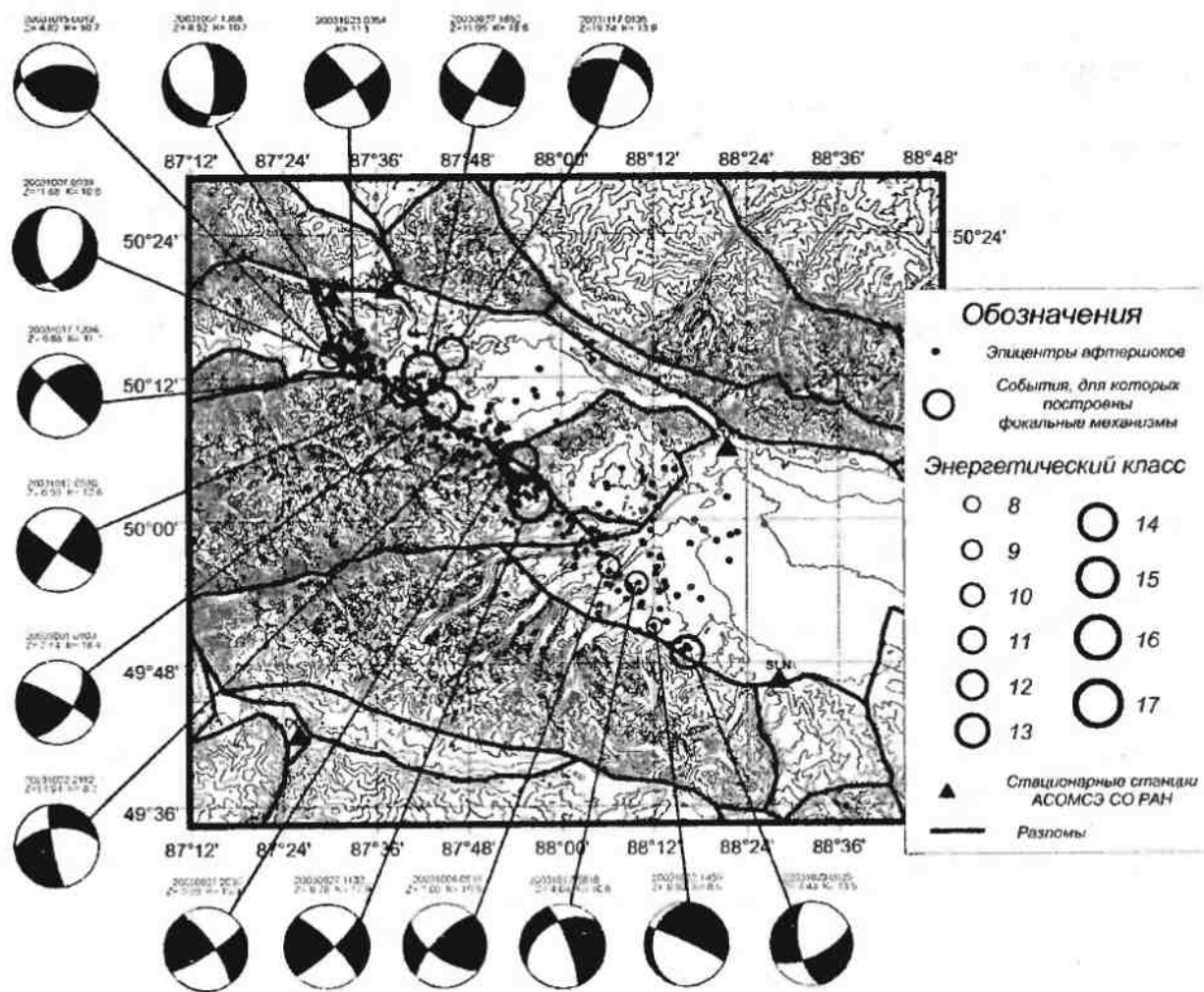


Рис. 2. Карта эпицентров афтершоков Чуйского землетрясения 2003 года и фокальные механизмы отдельных толчков. Положение эпицентров определено с использованием скоростной модели по данным сейсмической томографии.

В последующие дни наибольшее количество толчков происходило вдоль Северо-Чуйского хребта. В этом месте работала протяженная линейная зона, причем вдоль нее не меняются фокальные механизмы. На северо-западном окончании зоны активизации проходит граница трех блоков и изгибается на север активизированный разлом, который проходит между Курайской впадиной и Северо-Чуйским блоком. В области изгиба зоны разлома начинает проявляться мелкая блоковая структура. Эта структура хорошо видна как в серии линейных структур образуемых эпицентрами афтершоков, так и в геоморфологическом строении, в котором выражена в виде небольшого изометричного приподнятого блока. Также наличие этой структуры подтверждается изменением фокальных механизмов. В этом месте направленное движение, которое имеет место в центральной части активизации, начинает ослабевать и переходит из горизонтального сдвига в серию сбросов и взбросов. Можно предположить, что изменение фокальных механизмов на противоположном, юго-восточном окончании зоны активизации, также свидетельствуют об ослабевании напряжений и проявлении мелкой блоковой структуры.

Определения большинства фокальных механизмов многочисленных очагов землетрясений подтверждают правосдвиговый характер смещений в ходе отдельных сейсмических событий. Более того, будучи спроецированы на разрез, они подтверждают падение сейсмогенерирующего разрыва на юго-восток, под хребет. Сбросовые и взбросовые фокальные механизмы определены только для землетрясений, происходивших на концах

активизированного участка новейшего разлома, и связаны, по всей вероятности, со структурами оперения, характерными для окончаний сдвиговых зон.

Таким образом, новые независимые данные о характере движений по новейшим разломам подтвердили высокую прогностическую ценность сдвиговой модели морфотектоники Алтая. Результаты дальнейшей обработки сейсмологических данных позволят существенно углубить наше понимание особенностей движений по новейшим разломам и будут способствовать ее дальнейшей детализации.

*Работа выполнена при поддержке Фонда содействия отечественной науке, гранта РФФИ № 04-05-64788-а и гранта Президента Российской Федерации № МК-2596.2004.5*

#### **Литература:**

1. Новиков И.С. Кайнозойская сдвиговая структура Алтая// Геология и геофизика. - 2001.- № 9. - Т. 42. - С. 1377 - 1388.
2. Новиков И.С. Позднепалеозойская, среднемезозойская и позднекайнозойская эпохи орогенеза Алтая// Геология и геофизика. - 2002.- № 5.- Т.43.- С.434 - 445.
3. Новиков И.С. Морфотектоника Алтая// Геоморфология.- 2003.- № 3.- С.10 - 25.
4. Новиков И.С., Высоккий Е.М., Агатова А. Р. и др. Сильные землетрясения 2003 года в Горном Алтае и сейсмогеология Большого Алтая// Природа. - 2004. - № 3.- С. 19-26.
5. Агатова А. Р., Новиков И.С., Высоккий Е.М. и др. Геоморфологические эффекты землетрясений 27 сентября и 1 октября 2003 года в Горном Алтае// Геоморфология. - 2004. - № 2 (в печати)
6. Гольдин С.В., Селезнёв В.С., Еманов А.Ф. и др. Чуйское землетрясение и его афтершоки / Доклады РАН.- 2004 Т.395, № 4 (в печати)

# НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

А.А.Еманов, Е.В.Лескова

Алтае-Саянский филиал Геофизической Службы СО РАН, Россия, 630090,  
Новосибирск,  
просп. Ак. Коптюга, 3, тел. +73832305266, факс +73832301261, alex@gs.nsc.ru,  
katya@gs.nsc.ru

## Введение

Данная работа посвящена переработке данных регистрации Чуйского землетрясения и его афтершоков с использованием алгоритмов, не входящих в обязательную обработку при составлении каталога сейсмических событий. Исследованию афтершокового процесса Чуйского землетрясения посвящено уже много работ [6, 9], и при этом еще нет детальных сведений обо всем процессе. В рамках этой работы с помощью современных подходов мы уточняем данные, которые были представлены в работе [6].

До сих пор вся стандартная обработка была рассчитана на редкую сеть региональных наблюдений. С появлением более плотной сети станций "Алтайского сейсмологического полигона" [7] стало возможным применять методики, позволяющие получать более точные решения при локальных, полигонных наблюдениях. В этой работе для обработки сейсмологических данных Алтая мы пытаемся применять новые методы, которые позволяют по-новому увидеть пространственную структуру афтершокового процесса Чуйского землетрясения.

В вычислениях положений гипоцентров одним из очень важных параметров является скоростная модель. Именно благодаря скоростной модели мы можем вычислять время пробега волн и расстояние от очага до сейсмологической станции. При этом несоответствие действительности предполагаемой скоростной модели вносит, пожалуй, самую большую ошибку в вычислениях координат сейсмических событий. Для того чтобы получить более точные решения, мы используем два подхода. В первую очередь, при вычислениях гипоцентральных решений мы вводим уточненную скоростную модель. Это позволяет получить более точные абсолютные решения. Затем мы используем метод двойных разностей, который вообще не очень чувствителен к модели. Метод двойных разностей дает очень точное относительное решение, которое мы привязываем, сравнивая с уже имеющимся абсолютным.

В рамках данной работы мы выполнили гипоцентральные решения с использованием скоростной модели, полученной по данным сейсмической томографии, и для некоторых из этих них, в том числе для крупнейших событий этой активизации, построили фокальные механизмы. Также, переопределили положения сейсмических событий методом двойных разностей, показав, что полученные положения эпицентров выстраиваются в системы линейных цепочек, положение которых согласуется с рельефом и геологическими представлениями, располагаясь вдоль главного и опережающих разломов.

## *Гипоцентральные решения с использованием многослойной скоростной модели*

В стандартной обработке землетрясений в региональном центре, ориентированной на разряженную сеть сейсмологических станций, рассчитываются только эпицентральные решения с фиксированной глубиной 15 км. Решения делаются с простой скоростной моделью с постоянными скоростями  $V_p = 6,1$ ,  $V_s = 3,5$  в коре, и  $V_{p1} = 8,1$  и  $V_{s1} = 4,6$  в мантии. При разряженной сети, на больших расстояниях такой модели вполне достаточно, тогда как для локального участка Алтайского Сейсмологического Полигона можно использовать более точную модель, предполагая, что она не меняется на территории полигона.

Мы представляем гипоцентральные решения, которые были сделаны программой HYPOINVERSE 2000 [4] с использованием скоростной модели, полученной по данным сейсмической томографии [8]. Такая методика применяется впервые для определения гипоцентров в Алтае-Саянском регионе. Стоит отметить, что геология Алтае-Саянского региона очень разнообразна, поэтому одномерная слоистая модель, использованная в расчете, достоверна только для района главного события и афтершокового процесса. На таблице 1 показана скоростная модель для продольных волн. Для поперечных волн скоростная модель получалась с использованием отношения  $V_p/V_s = 1.74$ . Поскольку почти все станции, участвовавшие в обработке, были выставлены на выходах коренных пород, в первом слое модели берется скорость кристаллического фундамента и не принимается во внимание скорость в осадочном слое. Модель построена до границы Мохоровичича, а на границе (55км) указана скорость головной волны. Таким образом, мы строим модель, которая учитывает головную волну, но не учитывает волны, проходящие через мантию.

Таблица 1 Скоростная модель для продольных волн (Соловьев и др.)

Слой №	Глубина (км)	Скорость $V_p$ (км/сек)
1	0.0 - 3.0	6.0
2	3.0 - 6.0	6.25
3	6.0 - 9.0	6.3
4	9.0 - 15.0	6.35
5	15.0 - 20.0	6.4
6	20.0 - 30.0	6.55
7	30.0 - 40.0	6.75
8	40.0 - 55.0	6.75
9	> 55.0	8.1

Заметим, что и для P и для S волн мы использовали только первые вступления волн, интерпретация того, является ли волна прямой или рефрагированной (головной), полностью зависит от скоростной модели. У методики, которая используется в стандартной обработке, в этом смысле есть некоторое преимущество: она использует как прямые, так и головные волны. Это преимущество проявляется при редкой региональной сети станций, где для сейсмического события большинство станций находится на расстоянии, на котором появляется головная волна, но в условиях "Алтайского сейсмологического полигона" и плотной сети станций эпицентральных наблюдений оно не существенно.

В алгоритме использованной программы HYPOINVERSE заложена достаточно "умная" система взвешивания. При расчетах сначала вычисляется грубое приближение решения с использованием всех данных и фиксированной глубиной, затем оно начинает итеративно уточняться. При достижении точного эпицентрального решения глубина освобождается и начинается определение глубины. В процессе вычислений на заданной итерации включается фильтрация и взвешивание данных по двум параметрам: по невязке и расстоянию. При взвешивании по невязке из расчетов удаляются наблюдения, на которых разность наблюдаемого и теоретического (вычисленного с помощью модели) времен пробега

превышает некоторую величину, обычно 0,16 секунды, а остальным данным присваиваются веса в зависимости от невязки. Такое взвешивание зачастую уточняет решение, отбрасывая некачественные данные, но при этом возможна ситуация, когда одно плохое наблюдение может стянуть решение к неверному результату, поэтому необходимо контролировать качество решения. При взвешивании по расстоянию на определенной итерации удаляются из вычислений наблюдения на станциях, находящихся дальше определенного расстояния от эпицентра, а остальные данные взвешиваются. В качестве отсекающего расстояния мы обычно использовали 50 километров, только в некоторых случаях увеличивали, чтобы захватить большее число станций. Такое взвешивание гарантирует, что на последних итерациях при определении положения гипоцентра будут использоваться только близкие станции, при этом далекие станции не смогут внести ошибку обусловленную, в первую очередь, несоответствием модели на больших расстояниях от эпицентральной зоны.

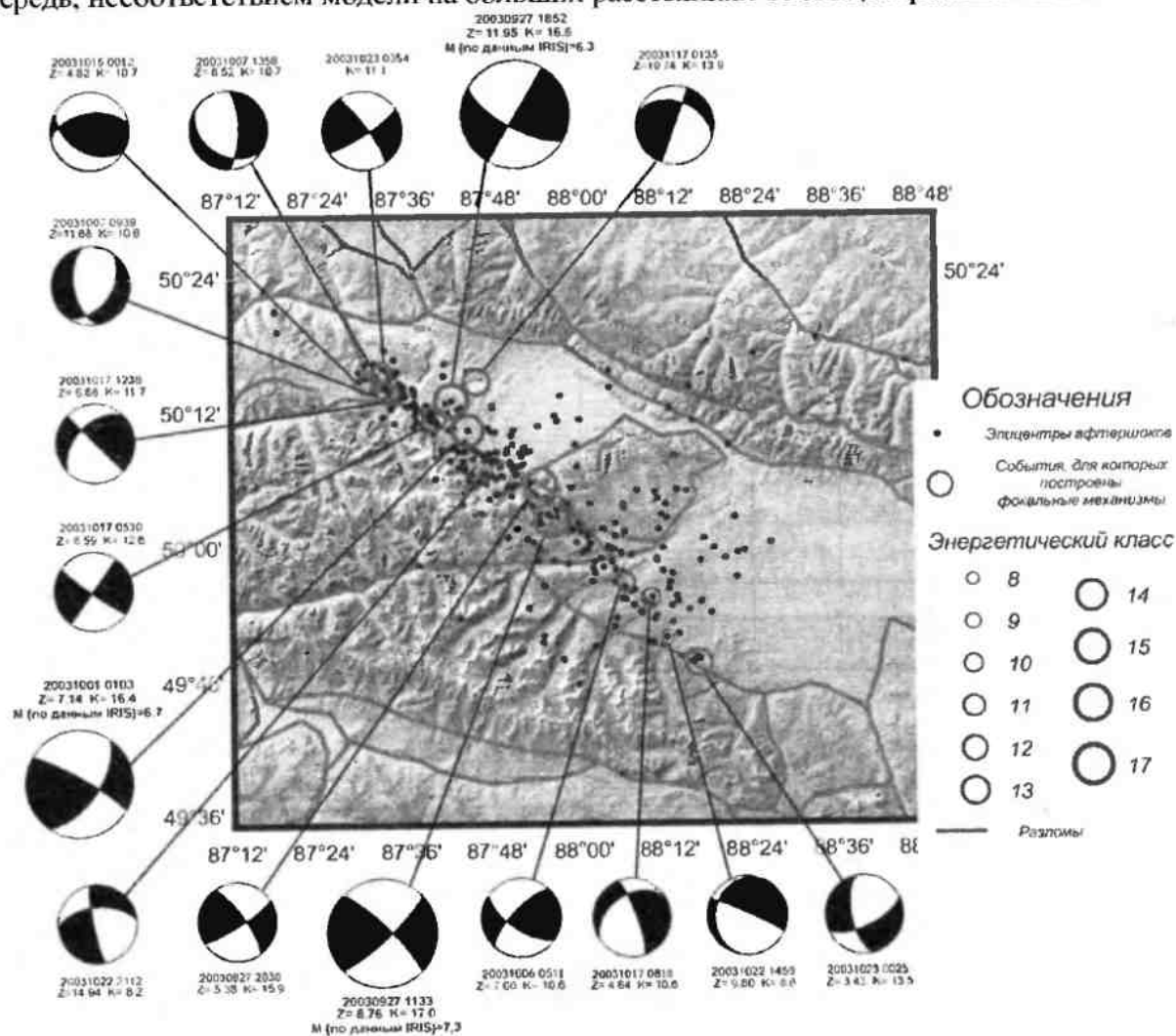


Рис. 1 Карта эпицентров афтершоков Чуйского землетрясения и фокальные механизмы. Положение эпицентров определялось с использованием скоростной модели по данным сейсмической томографии.

На рис. 1. показана карта рассчитанных положений эпицентров Чуйского землетрясения с помощью этого метода. На карте также представлена структура блокоразделяющих разломов по Новикову, впервые представленная в работе [6].

Для сравнения мы показали на рис. 2.А положения эпицентров, которые определялись стандартной методикой и на рис. 2.В положения эпицентров, полученные с использованием скоростной модели. Хорошо видно, как переопределенные события группируются в некоторую структуру, тогда как начальные определения представляют линейно вытянутое

собой облако.

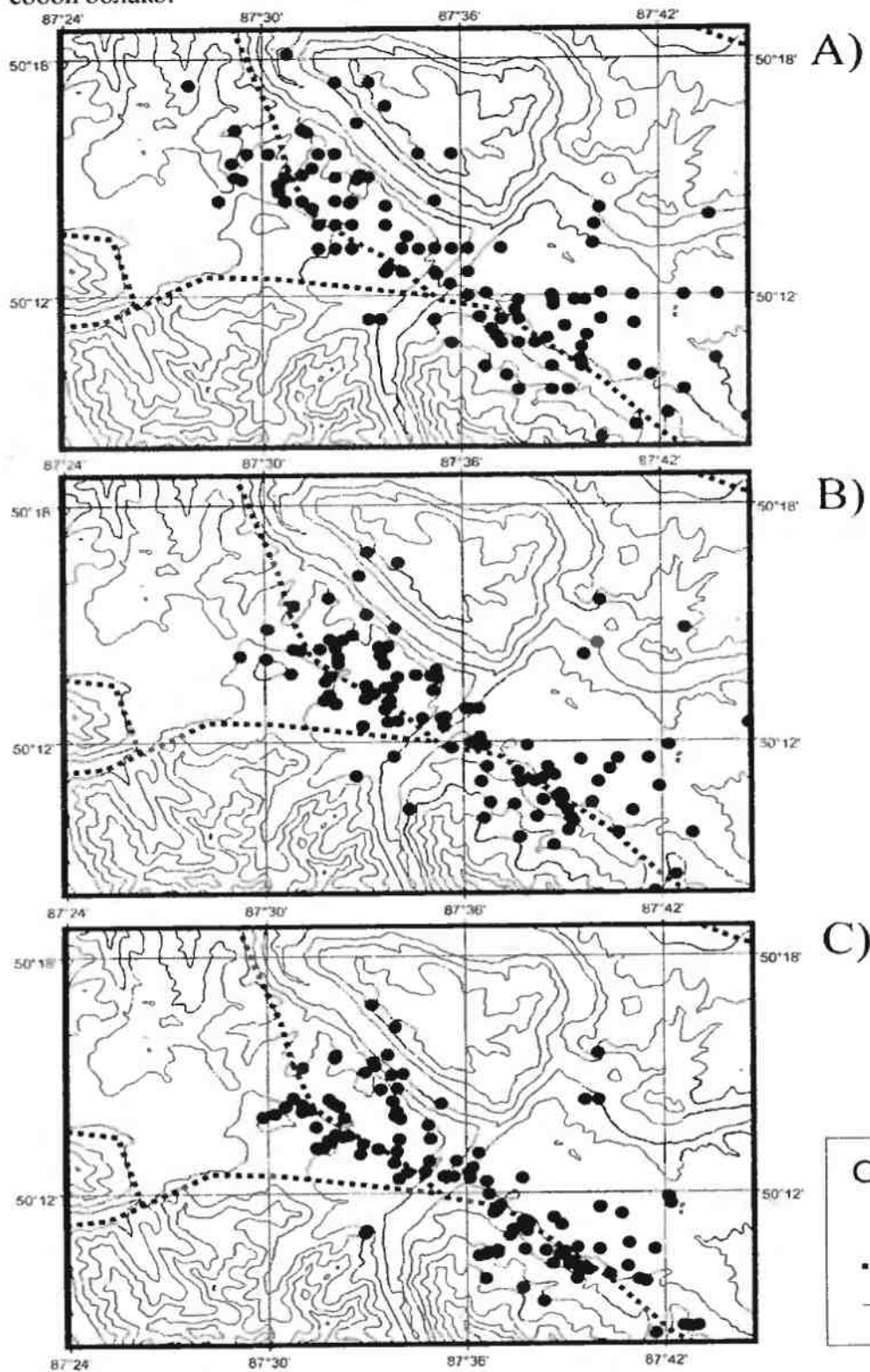


Рис. 2. Сравнение разных методик определения координат землетрясений.

А) Стандартная обработка РИОЦ.

В) Определение координат с использованием скоростной модели, полученной по данным сейсмической томографии.

С) Переопределения координат эпицентров по данным сейсмической томографии.

При построении фокального механизма программой FPFIT сравнивается наблюдаемая полярность на каждой станции, участвующей в определении механизма очага, с рассчитанной полярностью для каждой модели источника из набора. Далее рассчитывается минимум



функции расхождения, который и берется за решение плоскости разлома. Решение приводится в виде параметров плоскости разлома (угол простирания, падения и подвижки) и положения осей главных напряжений (азимут и угол наклона). В таблице 2 приведены эпицентральные решения и параметры фокальных механизмов.

Таблица 2. Параметры гипоцентральных решений и фокальных механизмов крупнейших событий активизации.

Оси главных напряжений			Нодальные плоскости						Центр	
T		P		NP1			NP2			
P1	Azm	P1	Azm	Slk	Dp	Slip	Slk	Dp		Slip
14	271	0	181	47	80	10	315	80	170	АСОМСЭ СО РАН
13	275	10	8	52	74	2	321	88	164	ИОЦ ГС РАН
10	262	18	356	38	70	-5	130	85	-160	NEIC
32	92	11	355	227	76	32	129	59	164	HARVARD

Принятые сокращения в таблице:

АСОМСЭ СО РАН - Алтае-Саянская опытно-методическая сейсмологическая экспедиция СО РАН;

ИОЦ ГС РАН - Информационно-обрабатывающий центр Геофизической службы РАН;

NEIC - Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США;

HARVARD - Гарвардский центр (США).

Определение механизма главного толчка проводилось по 27 наблюдениям первых вступлений на различных станциях, ближайшая из которых находилась в 30 км от эпицентра. Три станции располагались в пределах 100 км от эпицентра. Погрешность положения плоскости разлома составила 3° для углов падения и подвижки, 5° для угла простирания. В таблице 3 приведены расчеты механизма главного толчка, полученные в разных центрах и различными методами [9]. Полученное нами решение (АСОМСЭ СО РАН) лучшим образом согласуется с решением, полученным ИОЦ ГС РАН. При этом следует отметить, что наше решение строилось большей частью по данным близких станций, тогда как все остальные были построены по данным удаленных, телесеизмических станций. Различие между этими результатами превышает точность наших измерений, мы считаем, что проведенное исследование уточняет данные, полученные в работе [9].

Таблица 3.

Дата	Время (в сек)	Широта	Долгота	Глубина км	K	Число табл.	Плоскость 1			Плоскость 2			Ось сжатия (P)		Ось растяжения (T)	
							Простирание	Падение	Подвижка	Простирание	Падение	Подвижка	Азимут	Угол погружения	Азимут	Угол погружения
20030927	1133:24.08	50,027	87,932	8,76	17,0	27	315	80	170	47	80	10	181	0	271	14
20030927	1852:51.07	50,204	87,703	11,95	16,6	28	120	70	-180	30	90	-20	343	14	77	14
20030927	2030:25.40	50,080	87,906	5,38	15,9	16	325	75	170	58	80	15	191	4	282	18
20031001	0103:26.00	50,160	87,741	7,14	16,4	34	35	60	10	300	81	150	351	14	253	27
20031006	0511:26.14	49,935	88,102	7,00	10,6	15	125	65	160	224	72	26	353	5	85	31
20031007	0539:55.61	50,218	87,646	11,62	10,6	15	170	65	-120	36	45	-64	23	65	281	6
20031007	1358:55.51	50,249	87,543	8,52	10,7	17	0	70	-60	121	36	-144	308	55	68	19
20031015	0012:03.88	50,229	87,500	4,82	10,7	15	120	45	120	261	62	63	9	4	109	69
20031017	0530:21.42	50,178	87,663	6,59	12,5	20	125	85	-180	35	90	-6	350	4	80	4
20031017	0818:47.09	49,911	88,162	4,64	10,6	15	340	80	-130	238	41	-15	213	41	100	24
20031017	1236:23.49	50,216	87,555	6,68	11,7	17	315	90	-140	225	50	0	188	27	82	27
20031022	1459:11.59	49,851	88,201	9,80	8,5	12	295	85	-110	192	21	-14	184	46	43	38
20031022	2112:54.90	50,098	87,780	14,82	8,2	16	170	85	-40	264	50	-173	121	30	222	18
20031023	0025:46.35	49,814	88,271	3,43	13,5	19	65	65	-30	169	63	-152	26	38	117	1
20031023	0354:26.45	50,243	87,539		11,1	19	325	80	170	57	80	10	191	0	281	14
20031117	0135:47.15	50,232	87,162	19,74	13,9	24	20	90	50	290	40	180	143	33	257	33

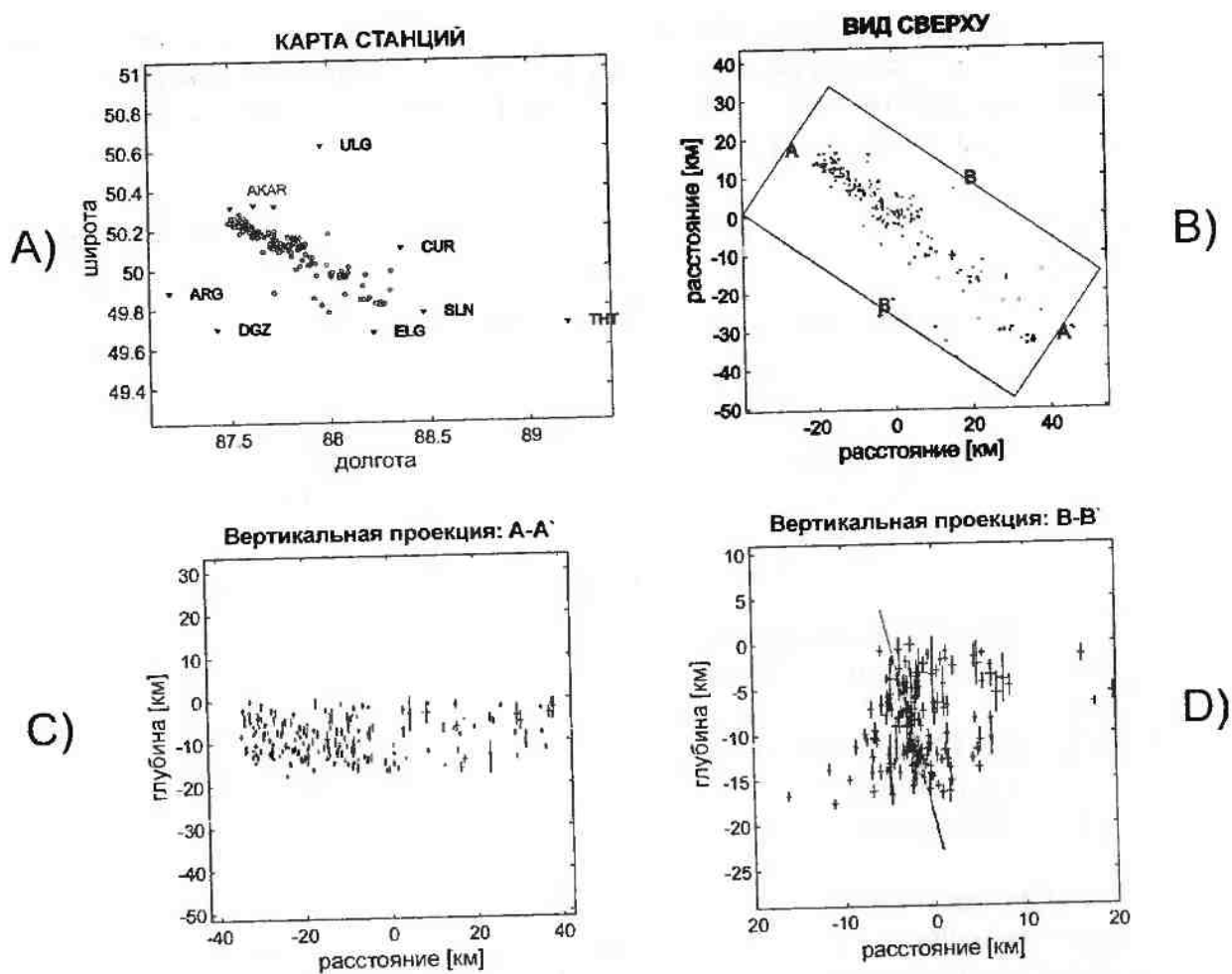


Рис.3. Переопределения методом двойных разностей. А) - карта с ближайшими станциями, В) - карта переопределения с горизонтальными погрешностями, С) и D) - две горизонтальных проекции с погрешностями определений.

На рис.3 представлены проекции нижних полусфер фокальных механизмов, построенных для отдельных событий. Для наглядности гипоцентры этих землетрясений обозначены синими кружками в зависимости от энергетического класса, эпицентры других событий - точками. Фокальные механизмы выделены для главного толчка и двух крупнейших афтершоков. Для них помимо энергетического класса, посчитанного АСОМСЭ СО РАН, приведены магнитуды по данным IRIS.

Четко видно, что по линии главного разлома вдоль Северо-Чуйского хребта фокальные механизмы показывают почти четко горизонтальный сдвиг, тогда как на обоих концах (юго-восточный и северо-западный) активизации механизмы изменяются и существенной становится вертикальная составляющая сдвига.

### **Переопределения гипоцентральных решений методом двойных разностей**

Нами были выполнены переопределения положения сейсмических событий методом двойных разностей [1]. Идея этого метода состоит в предположении, что сейсмические волны от близкорасположенных источников проходят до регистрирующей станции примерно по одному пути. Таким образом, разность времен пробега волны от двух близких событий обуславливается разностью положения гипоцентров этих событий. Используя большое количество совместных наблюдений пары землетрясений, метод двойных разностей переопределяет взаимное положение этих событий. При этом параметр, который обычно вносит большую погрешность в решение из-за несоответствия модели, такой как время

пробега волны от эпицентра до станции, практически сокращается.

В вычислениях участвовали только те события, которые имеют достаточное количество совместных наблюдений с соседними событиями, т.е. не менее 8 совместных наблюдений у каждой пары событий, находящихся в пределах 10 километров, таким образом, переопределялось взаимное положение двухсот событий. Из-за этого ограничения в обработку не попали события начала активизации, находящиеся вокруг Чаган-Узунского блока. Для переопределения использовались только данные каталога событий и времен вступлений, кросскорреляционные разности времен пробега сейсмических волн не использовались.

Метод двойных разностей дает очень точное относительное решение, то есть после переопределения взаимные положения событий устанавливаются очень точно, тогда как весь переопределяемый кластер может сдвинуться в сторону. Для того чтобы сделать привязку мы сравнили полученные данной методикой положения эпицентров с положениями, построенными HYPOINVERSE2000 (с использованием скоростной модели). На рис. 2. представлены определения эпицентров на северо-западном фланге активизации, выполненные тремя разными методиками: стандартной методикой, методикой с использованием скоростной модели по данным сейсмической томографии и методом двойных разностей. На этой иллюстрации видно, как улучшается точность полученного решения, и как начинают вырисовываться линейные структуры.

Итак, полученные методом двойных разностей положения эпицентров выстраиваются линейно (рис.3), причем эта линейность согласуется с рельефом и геологическими представлениями. На другом масштабе (рис. 3А) очень хорошо видна S-образная зона, которая огибает Северо-Чуйский хребет и загибается вдоль Чаган-Узунского блока.

Линейные структуры также хорошо видны и на вертикальных проекциях. Линии на рис. 3В, вдоль которых группируются переопределенные события, вероятно являются плоскостями разломов, вдоль которых происходят подвижки, а на рис. 3С могут быть как опережающими разломами, так и распространением скольжения вдоль главного разлома.

При рассмотрении полученных положений гипоцентров следует учитывать, что представленная выборка не является полной, и в дальнейшем, последующая обработка проявит и другие детали протекания афтершокового процесса, которые не могут быть замечены сейчас.

### **Заключение**

Главное событие произошло между Северо-Чуйским хребтом и Чаган-Узунским блоком. В первый день после начала активизации сейсмичность группировалась вокруг Чаган-Узунского блока [10]. Можно предположить, что в это время происходил проворот этого блока, зажатого между Северо-Чуйским и Курайским хребтом. Проворачиваясь, Чаган-Узунский блок одним краем надвигается на Курайскую впадину. На рис. 1. видно, что внутри Курайской впадины вдоль Чаган-Узунского блока образуется небольшая линейная структура.

В последующие дни наибольшее количество толчков происходило вдоль Северо-Чуйского хребта. В этом месте работала протяженная линейная зона, причем вдоль этой линейной зоны не меняются фокальные механизмы. На северо-западном окончании зоны активизации проходит граница трех блоков и изгибается на север активизированный разлом, который проходит между Курайской впадиной и северо-Чуйским горным массивом. В этом месте начинает проявляться уже мелкая блоковая структура. Эта структура хорошо видна в серии линейных зон на рис 2С. Также наличие этой структуры подтверждается изменением фокальных механизмов. В этом месте направленное движение, которое имеет место в центральной части активизации, начинает ослабевать и переходит из горизонтального сдвига в серию вертикальных. Можно предположить, что изменение фокальных механизмов на противоположном, юго-восточном окончании зоны активизации, также свидетельствуют об

### Литература

1. Waldhauser, F., and W.L. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Hayward Fault, California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 1353-1368, 2000.
2. Waldhauser, F., and W.L. Ellsworth, Fault structure and mechanics of the Hayward Fault, California, from double-difference earthquake locations, *J. Geophys. Res.*, 2001.
3. Waldhauser, F., HypoDD: A computer program to compute double-difference hypocenter locations, *U.S. Geol. Surv. Open-File Rep.*, 01-113, 25pp., 2001.
4. Fred W. Klein, 04/2002, User's Guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran Program to Solve for Earthquake Locations and Magnitudes, *U.S. Geol. Surv. Open-File Rep.* 02-171, version 1.0.
5. Reasenberг, P. A., and D. Oppenheimer, 1985, FPFIT, FPLOT, and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions, *U.S. Geol. Surv. Open-File Rep.* 85-739.
6. Гольдин С.В., Селезнёв В.С., Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Новиков И.С., Гиблиер А.С., Высоцкий Е.М., Агапова А.Р., Дядьков П.Г., Фатеев А.В., Кашун В.Н., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В., Янкайтис В.В., Ярыгина М.А. Чуйское землетрясение 2003 года (M=7.5) // Электронный научно-информационный журнал "Вестник отделения наук о Земле РАН" № 1(21) 2003. URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2003/screp-7.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/screp-7.pdf)
7. Еманов А.Ф., Колесников Ю.И., Селезнев В.С., Еманов А.А., Филина А.Г., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Болдырев М.А., Кабанник А.В., Корабельщиков Д.Г., Лескова Е.В., Янкайтис В.В., Ярыгина М.А., Алтайский сейсмологический полигон: начальный этап становления и первые результаты. Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия: Материалы междунар. геофиз. конф., г. Новосибирск. 15 - 19 сент. 2003г. Новосибирск. Издательство СО РАН, 2003.
8. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Дучков А.Д., Лисейкин А.В., Деформационно-прочностное районирование земной коры Алтае-Саянской складчатой области. Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия: Материалы междунар. геофиз. конф., г. Новосибирск, 15 - 19 сент. 2003г. Новосибирск, Издательство СО РАН, 2003.
9. Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Габсатарова И.П., Параметры землетрясения 27 сентября 2003 года на Алтае по инструментальным данным // Электронный научно-информационный журнал "Вестник отделения наук о Земле РАН" № 1(21) 2003. URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2003/screp-6.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/screp-6.pdf)
10. Гольдин С.В., Селезнёв В.С., Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Фатеев А.В., Колесников Ю.И., Подкорытова В.Г., Лескова Е.В., Ярыгина М.А., Чуйское землетрясение и его афтершоки // Доклады РАН.- 2004 Т.395, № 4 (в печати)

# СЕЙСМОТОМОГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО ДАННЫМ ОТ АФТЕРШОКОВ

<sup>1)</sup> А.В.Лисейкин, <sup>2)</sup> В.С.Селезнев, <sup>1)</sup> В.М.Соловьев

- 1) Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Россия, 630090, Новосибирск, Коптюга 3.
- 2) Геофизическая служба СО РАН, Россия, 630090, Новосибирск, Коптюга 3.

Эпицентральная зона Чуйского землетрясения, произошедшего 27 сентября 2003 г. на юге Республики Алтай, располагается в южной части Алтае-Саянской складчатой области в районе Северо-Чуйского хребта, Чуйской, Курайской межгорных впадин и разделяющего их Чаган-Узунского приподнятого блока (рис.1). По данным предыдущих исследований [1], зона находится в районе с повышенной сейсмической активностью. С августа 2002г. в этой части Алтае-Саянского региона действует локальная сеть станций Алтайского сейсмологического полигона [2, 3]. После землетрясения в этом районе была развернута сеть дополнительных временных сейсмологических станций, на которой в течение двух месяцев были зарегистрированы многочисленные афтершоки. Плотность сети временных станций позволила определять параметры гипоцентров с высокой точностью, что дало предпосылки к изучению трехмерного строения земной коры по сейсмологическим данным с использованием томографических методов.

Имеющиеся на настоящий момент сведения о глубинном строении Алтае-Саянской складчатой области получены в основном по данным малодетальных работ ГСЗ [4], являются региональными и не охватывают эпицентральную зону землетрясения. Кроме профильных работ, имеются также региональные сведения о глубинном строении центральной части Алтае-Саянского региона, полученные по данным площадной сети сейсмологических станций [5]. В то же время, для понимания механизмов образования землетрясения и протекания афтершоковых процессов, необходимы детальные геофизические сведения о строении земной коры в гипоцентральной зоне и, прежде всего, сведения о распределении скоростей Р- и S-волн.

По совокупности данных региональных профильных работ и площадных сейсмологических исследований, была построена сводная зависимость скоростей Р- и S-волн от глубины в земной коре в районе эпицентральной зоны Чуйского землетрясения (рис.2). Данная модель была использована для определения параметров гипоцентров афтершоков (Еманов А.А., Лескова Е.В.).

Для изучения строения верхней части земной коры в этом районе были собраны все обработанные на настоящий момент данные по прямым Р- и S-волнам от афтершоков Чуйского землетрясения с сети временных и постоянных сейсмостанций. Высоты сейсмостанций и глубины гипоцентров были приведены к общему относительному уровню в 2200 м. В интерпретации использовалось около 300 событий с энергетическими классами  $K > 7$ , в основном с глубинами от 0 до 15 км. Количество лучей, секущих исследуемую область составило около 1700 для Р- и 1500 для S-волн. С учетом особенностей системы наблюдений, количества лучей, ошибок в исходных данных и др., было установлено, что детальность томографических построений должна быть не мельче, чем 15-20 км по латерали и 5 км по глубине.

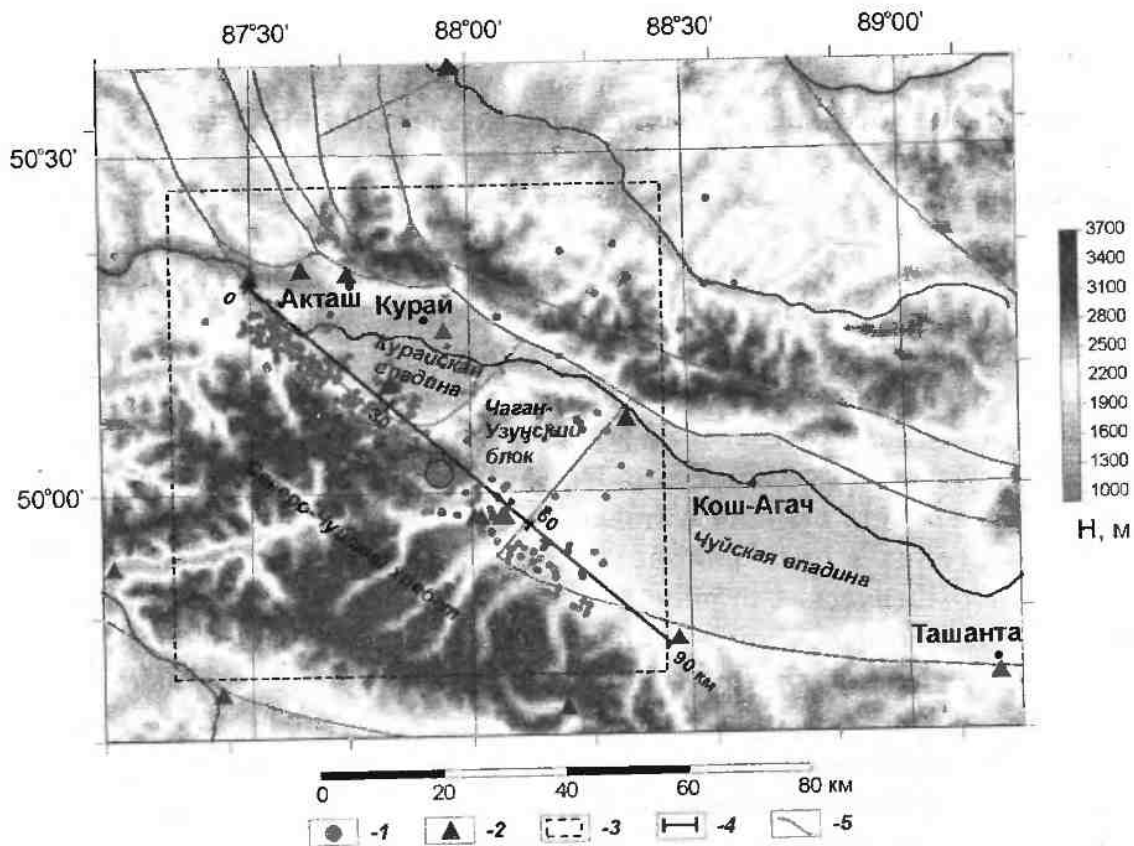


Рис.1. Схема наблюдений в районе эпицентральной зоны Чуйского землетрясения. 1- эпицентры Чуйского землетрясения (крупный кружок) и его афтершоков по данным Еманова А.А., Лесковой Е.В; 2- сейсмологические станции; 3- район исследований; 4- линия профиля; 5- разломы по данным ГИН РАН [2].

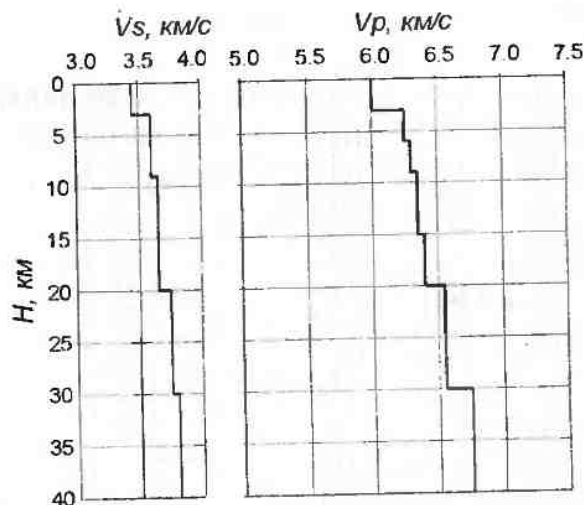


Рис.2. Сводная зависимость пластовых скоростей Р- и S-волн с глубиной в земной коре в районе эпицентральной зоны Чуйского землетрясения по данным [4,5].

Для интерпретации данных была использована методика лучевой сейсмической томографии на временных задержках, подробно изложенная в [6]. Основные принципы интерпретации заключаются в следующем. Исследуемая область среды разбивается на блоки с постоянной скоростью, которая задается согласно априорной референтной модели; лучи аппроксимируются ломаными; времена пробега являются суммой времен по всем сегментам этой ломанной. По этим суммам составляется система линейных уравнений, в правой части которой стоят невязки между наблюдаемыми временами и теоретическими, рассчитанными по референтной модели. Решением системы является распределение невязок скоростей к исходной модели среды. При точном задании референтной модели траектории лучей будут неверными и в этом случае необходимо применять итеративную процедуру: каждую восстановленную модель использовать в качестве референтной с последующим расчетом лучей, постепенно приближая систему к реальным условиям. В данной работе авторами были использованы следующие соображения, позволившие упростить решение обратной задачи с применением методики сейсмической томографии.

С использованием сводных зависимостей скоростей от глубины была рассчитана прямая задача для рефрагированных и прямолинейных лучей. На удалениях до 60 км расхождение годографа прямой и рефрагированной волны при различных глубинах источников составляет не более 0.02 с, расхождения траекторий лучей при этом не превышают 2 км. С другой стороны, величина ошибок в исходных данных, связанная с неточностью определения параметров гипоцентров землетрясений, в данном районе может составлять до 0.1-0.2с во временах и до 2-3 км в глубинах. Размеры скоростных блоков, выбранные исходя из детальности наблюдений, составляют 5 км по глубине и 15-20 км по латерали. Исходя из этого. Было сделано предположение, что в данных условиях на удалениях до 60 км траектории лучей P- и S-волн можно считать практически прямолинейными, что существенным образом упростило решение обратной сейсмотомографической задачи.

Для обоснования выбранной методики томографической интерпретации сейсмологических данных было произведено несколько теоретических расчетов по восстановлению трехмерно-неоднородных скоростных моделей среды. Система наблюдений соответствовала реальному расположению сейсмостанций эпицентральной зоны и распределению гипоцентров афтершоков. Размеры восстанавливаемых скоростных блоков составляли 20 км по латерали и 5 км по глубине. Результаты расчетов показали, что для данной системы наблюдений при ожидаемых ошибках в исходных данных скоростные аномалии, расположенные на глубинах от 0 до 10 км, восстанавливаются с погрешностями не более 0.1 км/с. Для больших глубин в 10-15 км модель среды восстанавливается несколько хуже, с ошибками 0.15-0.2 км/с. Это связано с влиянием ошибок в исходных данных, связанных, прежде всего с неточным определением гипоцентров афтершоков.

Интерпретация экспериментальных данных проводилась двумя способами. В первом способе проводилась двумерная интерпретация в рамках выделенной профильной расщелки, простирающейся вдоль Северо-Чуйского хребта и состоящей из афтершоков, расположенных практически линейно вдоль разломов и 4-х приемных сейсмических станций (рис.1). Во втором способе по совокупности всех данных времен пробега P- и S-волн от афтершоков с площадной сети станций проводилась трехмерная интерпретация.

Длина выделенного профиля составила около 90 км, ширина с учетом разброса эпицентров составила около 15 км. Было отобрано свыше 500 лучей P- и 400 S-волн от гипоцентров на удалениях до 60 км, по которым строились годографы, приведенные к общему пункту приема, с сортировкой источников по глубине. Пример экспериментального годографа продольной волны, зарегистрированного на сейсмостанции "Чибит" (СНТ) от источников на глубинах 10-15 км приведен на рис.3а. По построенным годографам проводилась отбраковка некачественных данных, связанных, очевидно, с плохой точностью определения в отдельных случаях времен в очаге 10 и координат гипоцентров. Оставшиеся данные затем были

использованы в качестве исходных времен для интерпретации способами сейсмической томографии. Размеры восстанавливаемых скоростных блоков составили 5 км по глубине и 15 км по профилю. В качестве референтной модели среды была использована одномерная зависимость скоростей P- и S-волн с глубиной, описанная выше. В результате интерпретации было получено двумерное распределение скоростей P- и S-волн по разрезу длиной около 90 км и глубиной до 15 км (рис.3б) и распределение коэффициента Пуассона (рис.3в).

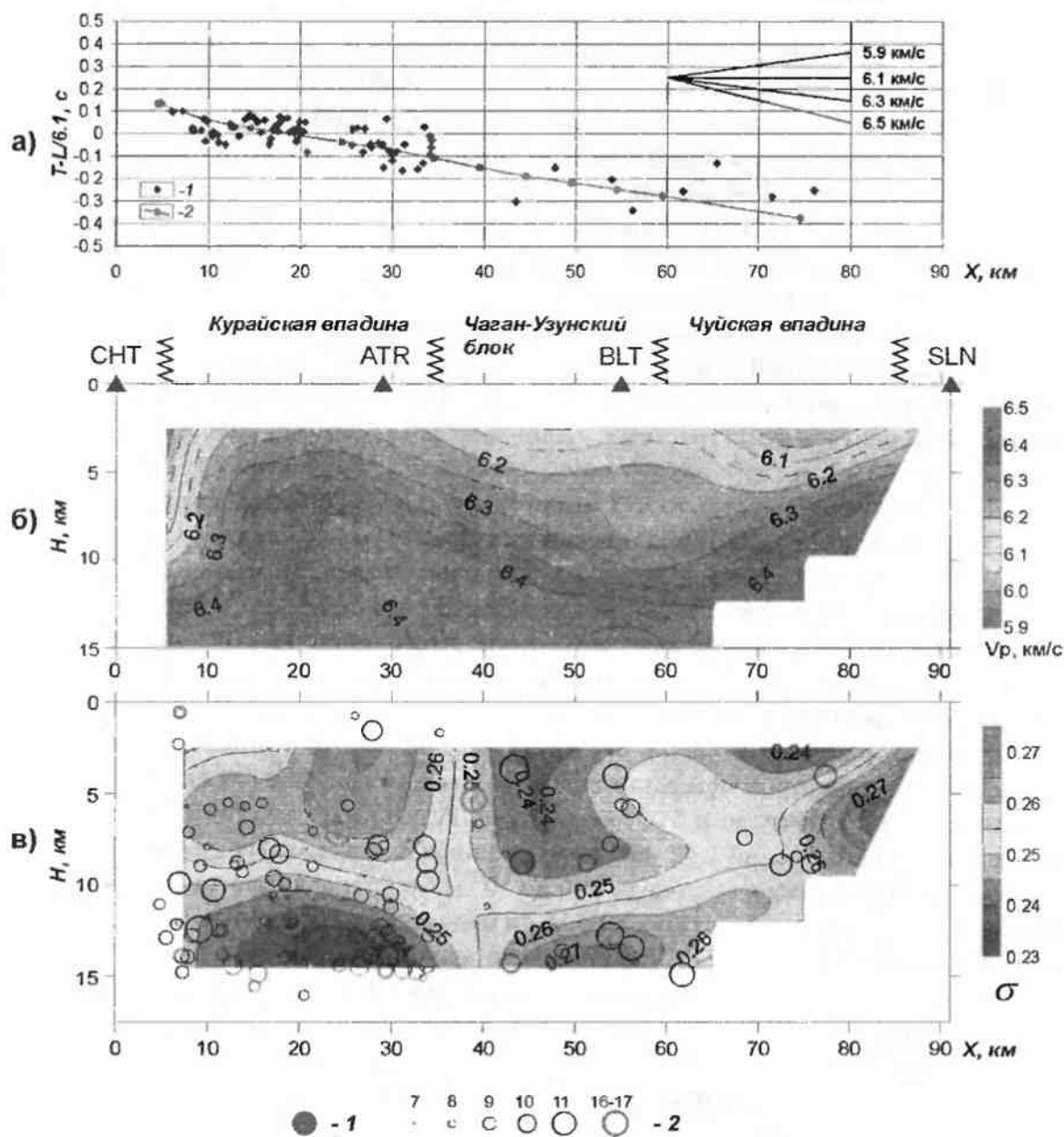


Рис.3. Результаты интерпретации сейсмологических данных по профилю в районе эпицентральной зоны Чуйского землетрясения.

а- экспериментальный (1) и теоретический (2) годографы от источников на глубине от 10 до 15 км; б- распределение скоростей продольных волн по профилю; в- распределение коэффициента Пуассона, 1- гипоцентр Чуйского землетрясения, 2- гипоцентры афтершоков с энергетическим классом  $K$ .

Как видно из рисунка, значения скоростей P-волн, в целом, по разрезу меняются от 5.9 км/с до 6.5 км/с. Выделяются зоны с пониженными значениями скоростей до 5.9-6.0 км/с в районе юго-западной части Курайской впадины, 6.1 км/с в пределах Чаган-Узунского блока и 6.0 км/с в районе Чуйской впадины в верхней части разреза для глубин от 0 до 5 км. На



участке южной части Курайской впадины находится зона с повышенными значениями скорости до 6.2 км/с. На глубинном уровне от 5 до 10 км выделяется зона с пониженным значением скорости до 6.1 км/с в юго-западной части Курайской впадины, остальной участок разреза представлен скоростями в 6.3-6.4 км/с. В нижней части профиля (на глубинах 10-15 км) значения скоростей продольных волн составляют 6.4-6.5 км/с. Значения коэффициента Пуассона по разрезу меняются от 0.23 до 0.28. В верхней части земной коры до глубин 7-8 км выделяется блок с повышенным значением данного параметра до 0.27, который соответствует участку Курайской впадины. На глубинах с 8 до 12 км на этом участке находится переходная зона с понижением коэффициента Пуассона, значение которого на глубине около 15 км составляет 0.23. На участке Чаган-Узунского блока до глубины порядка 10 км наблюдается зона с пониженным значением коэффициента до 0.24, которая граничит снизу с блоком повышенных до 0.27. Участок Чуйской впадины характеризуется средними значениями коэффициента Пуассона в 0.25, лишь в юго-западной части ее на глубинах 5-10 км наблюдается зона с повышенным значением до 0.27.

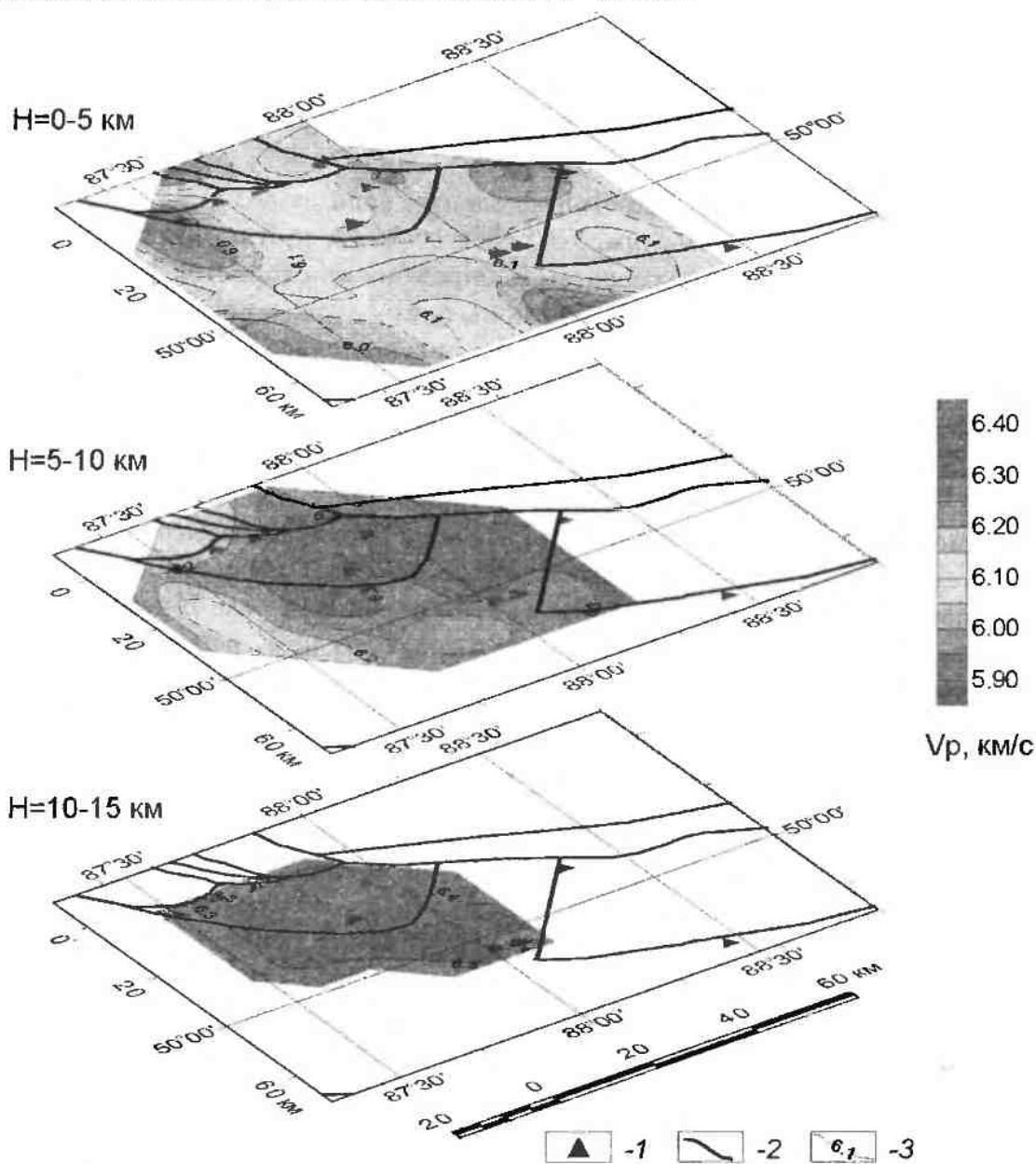


Рис.4. Результаты интерпретации данных Р-волн в верхней части земной коры эпипоцентральной зоны Чуйского землетрясения.

1- сейсмостанции, 2- разломы по данным ГИН РАН [2], 3- изолинии скорости в км/с.

По данным времен пробега P- и S-волн от афтершоков со всей площадной сети станций эпицентральной зоны была также проведена трехмерная интерпретация. Система наблюдений состояла из 12 станций и около 300 афтершоков (рис.1). Количество лучей, секущих исследуемую область и имеющих длину до 60 км, составило около 1300 для P- и 1000 для S-волн. В качестве референтной модели использовались сводная зависимость скоростей продольных и поперечных волн с глубиной для территории эпицентральной зоны Чуйского землетрясения, описанная выше. В результате интерпретации было получено распределение значений скоростей P- и S-волн в верхней части земной коры до глубины 15 км на площади 80x80 км и распределение коэффициентов Пуассона. Результаты представлены в виде распределений пластовых скоростей и коэффициентов по площади на глубинных уровнях 0-5 км, 5-10 км и 10-15 км.

Из рис.4 с данными интерпретации P-волн, видно, что значения скоростей в исследуемой области изменяются от 5.9 км/с до 6.4 км/с. Выделяется протяженная зона пониженных значений скоростей P-волн вдоль Северо-Чуйского хребта от 5.9-6.1 км/с в слое 0-5 км до 6.2 км/с в слое 5-10 км и до 6.3 км/с на глубинах 10-15 км. В центральной части Курайской впадины и Чаган-Узунского блока находится область с повышенными значениями скоростей продольных волн от 6.2 км/с до 6.3 км/с и 6.4 км/с на глубинных уровнях 0-5 км, 5-10 км и 10-15 км соответственно.

С использованием данных трехмерного распределения скоростей P- и S-волн в верхней части земной коры эпицентральной зоны построены распределения значений коэффициента Пуассона (рис.5). Как видно из рисунка, значения коэффициента в исследуемой области в целом меняются от 0.21 до 0.28. Выделяется протяженная зона с пониженными значениями до 0.21-0.23 в районе Северо-Чуйского хребта и юго-западной части Чаган-Узунского блока на глубинном уровне 0-5 км. Данная зона пониженных значений коэффициента Пуассона прослеживается и на других уровнях, со значениями =0.23-0.24 на глубинах 5-15 км. Район Курайской межгорной впадины характеризуется повышенными значениями до 0.26-0.27 на глубинах 0-10 км и средними значениями около 0.25 на глубинном уровне 10-15 км. В районе северо-восточной части Чаган-Узунского блока и примыкающего к нему западного окончания Чуйской межгорной впадины также находится зона с повышенными значениями коэффициента Пуассона до 0.27-0.28 и 0.26-0.27 на глубинах 0-5 км и 5-15 км соответственно.

Полученные трехмерные распределения значений скоростей P- и S-волн, а также коэффициента Пуассона, в верхней части земной коры практически неизученного ранее участка Алтае-Саянского региона в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения являются очень важным результатом. Несмотря на невысокую точность томографической интерпретации, связанную с особенностями системы наблюдений и ошибками в исходных данных, по построенным распределениям можно выделить основные особенности строения эпицентральной зоны Чуйского землетрясения. В эпицентральной зоне Чуйского землетрясения планируется установка дополнительной сети временных сейсмологических станций. Полученные распределения можно использовать в качестве первого приближения, которые затем будут уточнены после получения дополнительных сейсмологических данных. Кроме того, в исследуемом районе планируется провести дополнительные исследования по региональному сейсмическому профилю с использованием мощных вибрационных источников.

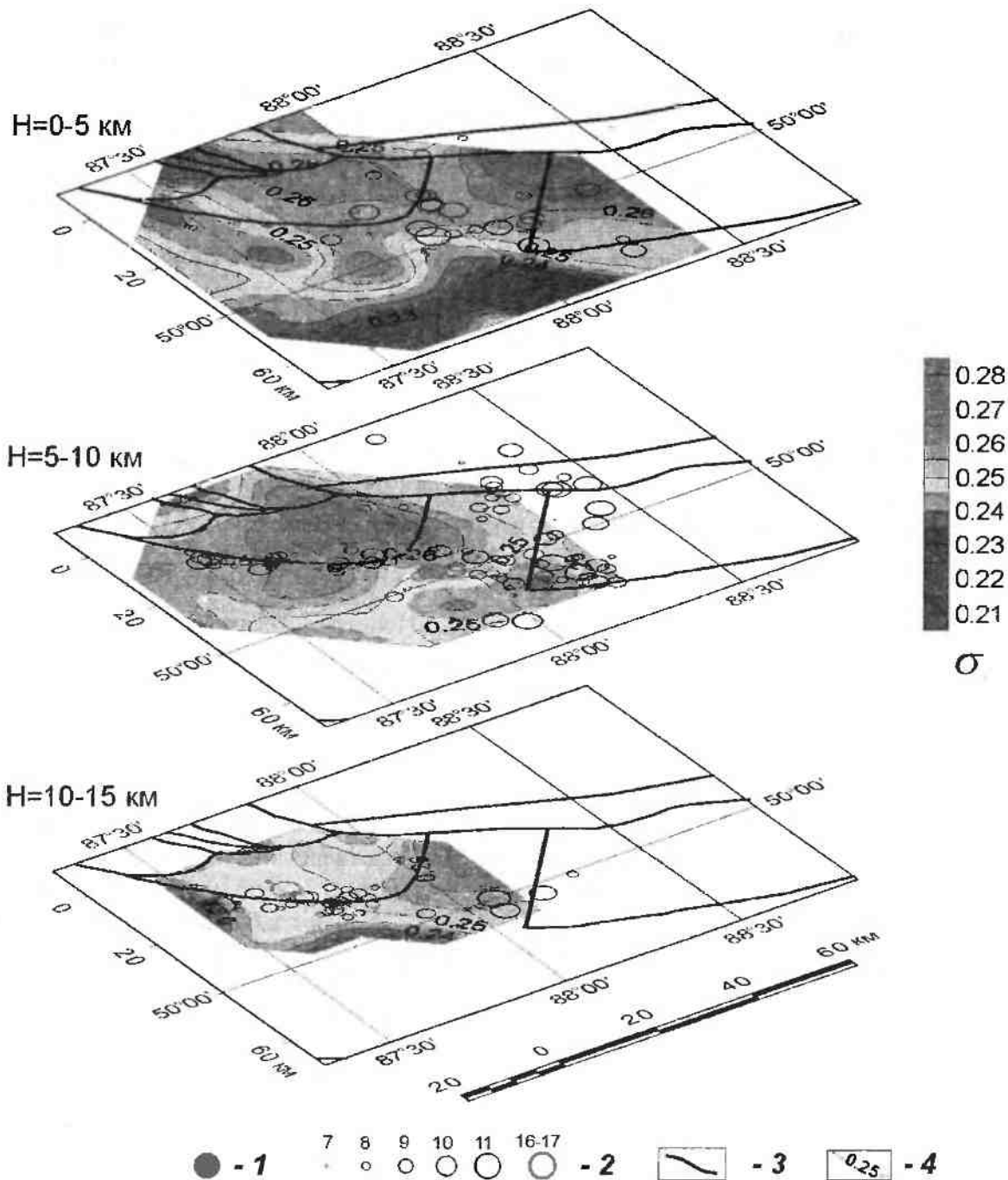


Рис.5. Распределение коэффициента Пуассона в верхней части земной коры эпицентральной зоны Чуйского землетрясения.

1- гипоцентр Чуйского землетрясения, 2- гипоцентры афтершоков с энергетическим классом К по данным Еманова А.А., Лесковой Е.В., 3- разломы по данным ГИН РАН [2], 4- изолинии коэффициента Пуассона.

Сформулируем основные выводы, являющиеся следствием полученных распределений. Верхняя часть земной коры эпицентральной зоны Чуйского землетрясения резко неоднородна по своим упругим свойствам как по латерали, так и по глубине. Приуроченность данных неоднородностей в большей мере к крупным тектоническим структурам, ограниченными глубинными разломами, позволяет рассматривать исследуемую среду как состоящую из блоков с различными упругими свойствами. На резких краевых границах этих блоков под влиянием тектонических воздействий можно ожидать возникновения подвижек и, как следствие, высвобождения упругой энергии в виде землетрясений и последующих

афтершоков. Об этом свидетельствует факт линейного пространственного распределения эпицентров афтершоков Чуйского землетрясения вдоль разломов, отделяющих Курайскую и Чуйскую межгорные впадины, характеризующихся повышенными значениями коэффициента Пуассона от Северо-Чуйского хребта с пониженными значениями. Гипоцентр Чуйского землетрясения располагается также в переходной зоне указанного параметра. Кроме того, анализ пространственного распределения положительной аномалии Курайской впадины и примыкающей к ней с юга отрицательной аномалии Северо-Чуйского хребта показывает на то, что плоскость разлома, их разделяющего, скорее всего, имеет наклон в направлении на юго-запад. Использование полученной скоростной модели среды также позволяет повышать достоверность определения параметров гипоцентров землетрясений.

#### Литература:

1. 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, №10, с.20-30.
2. Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Филина А.Г., Еманов А.А., Лескова Е.В. и др. Чуйское землетрясение и его афтершоки. // Доклады Академии Наук, 2004, т. 395, №4, с.1-4.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г. и др. Пространственно-временной анализ сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны. // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия: Материалы международной геофизической конференции. г. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. - с. 73-86.
4. Глубинные сейсмические исследования в Западной Сибири. М.: Наука, 1970, 128с.
5. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Жемчугова И.В., Лисейкин А.В. Глубинное строение Алтае-Саянского региона по данным площадных сейсмологических систем наблюдений. // Сейсмология в Сибири на рубеже тысячелетий: Материалы междунар. геофиз. конф., 27-29 сентября, 2000 г., Новосибирск.
6. Нолет Г. Сейсмическая томография. С приложениями в глобальной сейсмологии и разведочной геофизике. // Пер. с англ. Москва: Мир, 1990.

**Институт геофизики СО РАН, пр. Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090. Т. 8 383 2  
33 16 39, email: ninan@uiggm.nsc.ru**

### **Введение**

Чуйская неотектоническая впадина является одной из крупнейших кайнозойских впадин Горного Алтая. Она со всех сторон окружена горными хребтами. В общем, этот район характеризуется сложным тектоническим строением. Чуйский прогиб является областью интенсивной складчатости. Горное обрамление без сомнения имеет блоковое строение, отражающее активные тектонические движения. С севера со стороны Курайского хребта прослеживается мощная зона Курайского разлома. У северного борта депрессии наблюдается напряженная пликативная тектоника. Породы образуют крутые и опрокинутые складки с углами падения до 50-70 градусов [1]. В плане, впадина вытянута в широтном направлении, примерный ее размер 30 - 70 км. Дневная поверхность впадины представляет собой довольно плоскую, местами заболоченную равнину.

На территории впадины в 70-80-е гг. было проведено около 3000 тысяч электрических и электромагнитных зондирований. В основном использовались технологии зондирований становлением поля (ЗС), а также вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ). Современные средства обработки не применялись. Палеточная интерпретация данных в те годы была направлена на оценку мощности рыхлых отложений. При предварительном анализе экспериментального материала учитывались физические основы использованных технологий электроразведки, а также известные особенности геологического строения впадины. Так, например, широко распространенная многолетняя мерзлота, является экраном для метода ВЭЗ, а наличие на поверхности валуново-галечных отложений часто создают сложные условия для заземления. То есть методически и физически глубинные структурные исследования предпочтительнее было проводить, используя зондирования становлением поля. Поэтому для компьютерной интерпретации решено было полностью использовать материал ЗС, с учетом данных ВЭЗ, имеющихся в цифровом виде.

Для зондирований становлением поля была использована соосная, симметричная установка (пестля в петле). Для большей части зондирований применяли генераторные и приемные петли размером 400 (м) x 400 (м) с таким же шагом по профилю. Обычно в каждой точке проводилось два зондирования с различным током (12 и 40 А). При величине тока 12 А измерения ЭДС начинались в среднем с 0,3 мс. При токе в 40 А - от 0.6 до 1.0 мс. Конечное время измерений ограничивалось уровнем помех и составляло от 40 до 100 мс. В каждом пункте зондирований на меньшем токе регистрировался один цикл измерений при 100 накоплениях, на большем токе проводилось 3 цикла измерений при том же числе накоплений. Минимальная величина измеряемого полезного сигнала составляла в среднем 10 мкВ. Средняя относительная ошибка измерений оценивалась примерно с 3 - 5 % на ранних временах и до 10 - 15 % на поздних. Зондирования на нескольких профилях в восточной части планшета проведены с установкой 500 (м) x 500 (м) и шагом 500 (м). Погрешность измерений здесь достигала 12%. При проведении работ применялась аппаратура "Цикл". На рис. 1 показана схема размещения профилей, пунктов измерений, буровые скважины, а также некоторые элементы топографической и геологической карты ( показана граница горного обрамления)

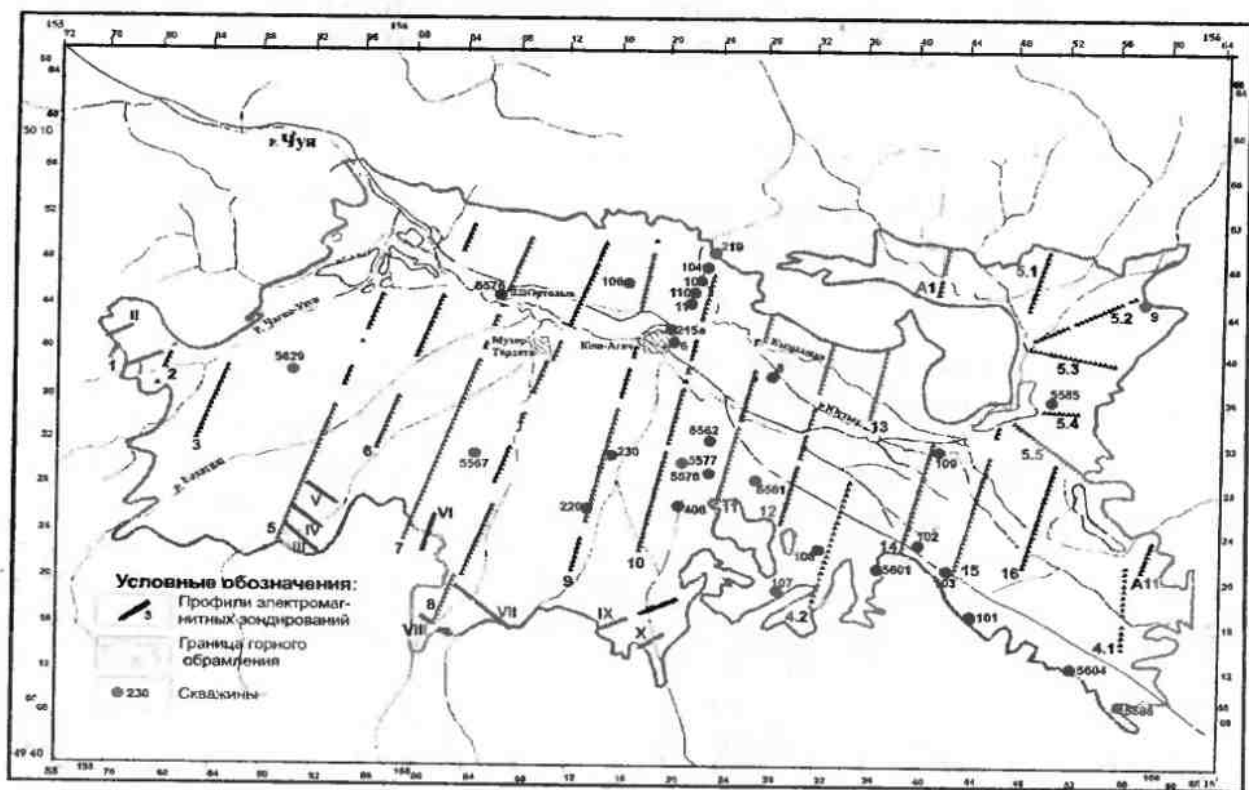


Рис. 1. Схема района работ.

На профилях, обозначенных на схеме римскими цифрами, использовалась аппаратура "Импульс" и петли 200 (м) x 200 (м) с шагом по профилю 200 метров, сила тока в генераторной петле составляла 8-15 А. Сигнал регистрировался, начиная с 0.2 мс. Средняя относительная погрешность измерений оценивается примерно в 10-15 % из-за высокого уровня помех.

Большая часть кривых кажущихся сопротивлений имеют выраженный минимум и, по крайней мере, несколько точек после него, которые формируют правую восходящую ветвь, что позволяет уверенно определять глубины до высокоомного фундамента.

На этапе современной обработки использовался программный комплекс "ЭРА" [2]. На рис 2 приведена типичная практически неискаженная кривая ЗС для центральных профилей, пересекающих основные, структурные элементы впадины. На этом же рисунке показана горизонтально-слоистая модель и теоретическая кривая зондирования. Экспериментальные данные изображены на рисунке вертикальными штрихами, размер штриховки зависит от существующей погрешности измерений. В данном случае, погрешность равнялась от 1 до 2 % для левой ветви и части минимума кривой и повышалась до 5-10 % для правой ее части. Видно, что правая ветвь немного искажена, но точность подбора теоретической кривой хорошая, (она показана на рисунке сплошной линией). Средняя погрешность подбора находится в пределах 5%. Наблюдается хорошее согласование синтетических и экспериментальных данных.

Так как впадина находится в тектонически-активной области, как фундамент так и рыхлые отложения пересекают многочисленные разломы различной ориентации и размеров. Но, тем не менее, при интерпретации данного материала удается работать в классе горизонтально-слоистых моделей, что, прежде всего, объясняется высокой локальностью выбранной для измерений установки, что в принципе характерно для всех индукционных установок [3]. Известно, что именно индукционные установки с соосными рамками имеют наименьшую чувствительность к негоризонтальным поверхностям раздела в исследуемом разрезе. Кроме того, на погрешности измерений слабо влияет наклон генераторной и приемной рамок, то есть негоризонтальная верхняя граница.

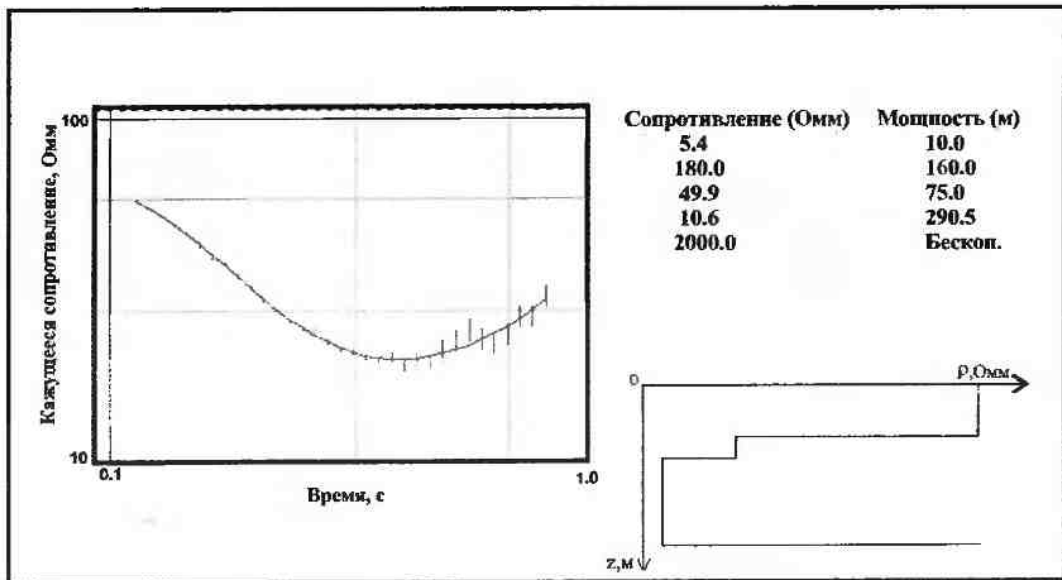
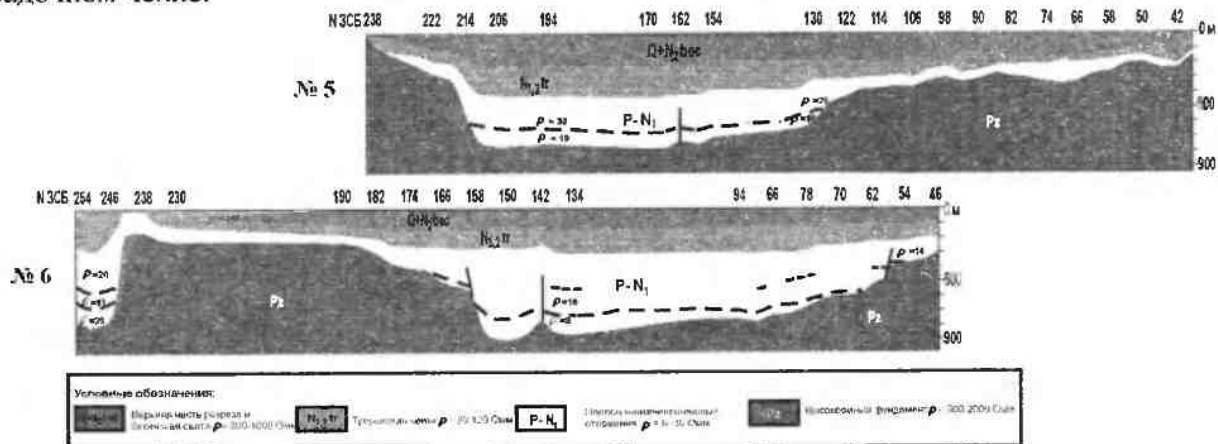


Рис 2. Типичная кривая зондирования становлением поля (профиль 7, пункт 314)

### Результаты компьютерной интерпретации.

Рассмотрим рис.3, на котором представлены геоэлектрические разрезы через основные структурные элементы впадины по наиболее протяженным профилям. Разрезы № 5, 6, 9, 10 построены с севера от зоны разломов Курайского хребта до южного горного обрамления. На примере этих разрезов отмечается ступенчато- блоковое строение пород, слагающих осадочный чехол. Можно видеть, что наиболее сложно устроен северный борт впадины, расположенный вблизи зоны Курайского разлома, где нашими построениями подтверждены, предполагаемые геологами надвиги высокоомных палеозойских пород на более поздние отложения третичного периода. Осадочные комплексы на северной окраине образуют крутые, вероятно даже опрокинутые складки, например, северная часть профилей 6 и 9, здесь наблюдаются выходы хорошо проводящих отложений на поверхность. Возможно, что в этих местах отслеживаются зоны четвертичных разломов, заполненные разуплотненными породами. На приведенных профилях отмечается сложное глыбово-блоковое строение фундамента. Фундамент пересечен многочисленными разломами, которые фиксируются резкими его уступами и достаточно четко прослеживаются выше по разрезу ступенями в осадочном чехле.



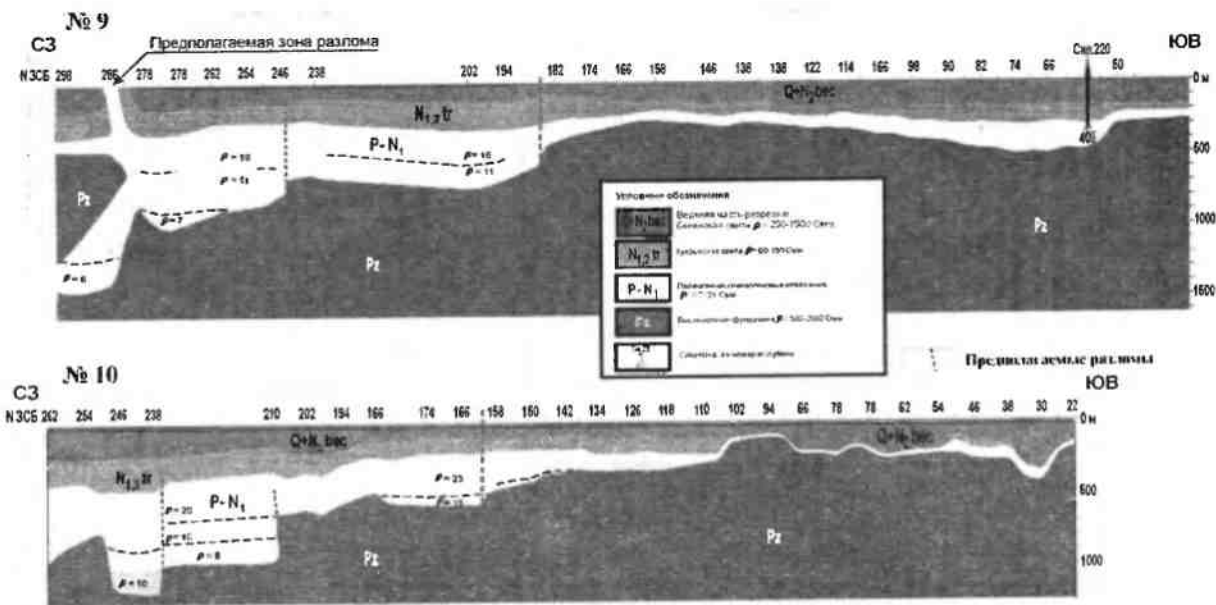


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы 5, 6, 9, 10.

Следует отметить, что разломы Чуйской впадины невелики по ширине. Вероятно, в среднем разломные зоны достигают 100-300 метров, так как при шаге съемки 400 метров, разломы на разрезах фиксируются резким изменением мощности осадочной толщи, по данным интерпретации соседних кривых зондирований, позволяющих работать в рамках горизонтально-слоистой модели. И только незначительная часть кривых, когда точка измерений находится непосредственно над разломной зоной, характеризуется резким падением правой ветви кривой и невозможностью определить глубину до фундамента. Анализ информации по геоэлектрическим профилям показывает, что впадина состоит, по крайней мере, из двух крупных структурных единиц: центральный прогиб, с локальными ступенчатыми опусканиями и западный, с более простым блоковым строением.

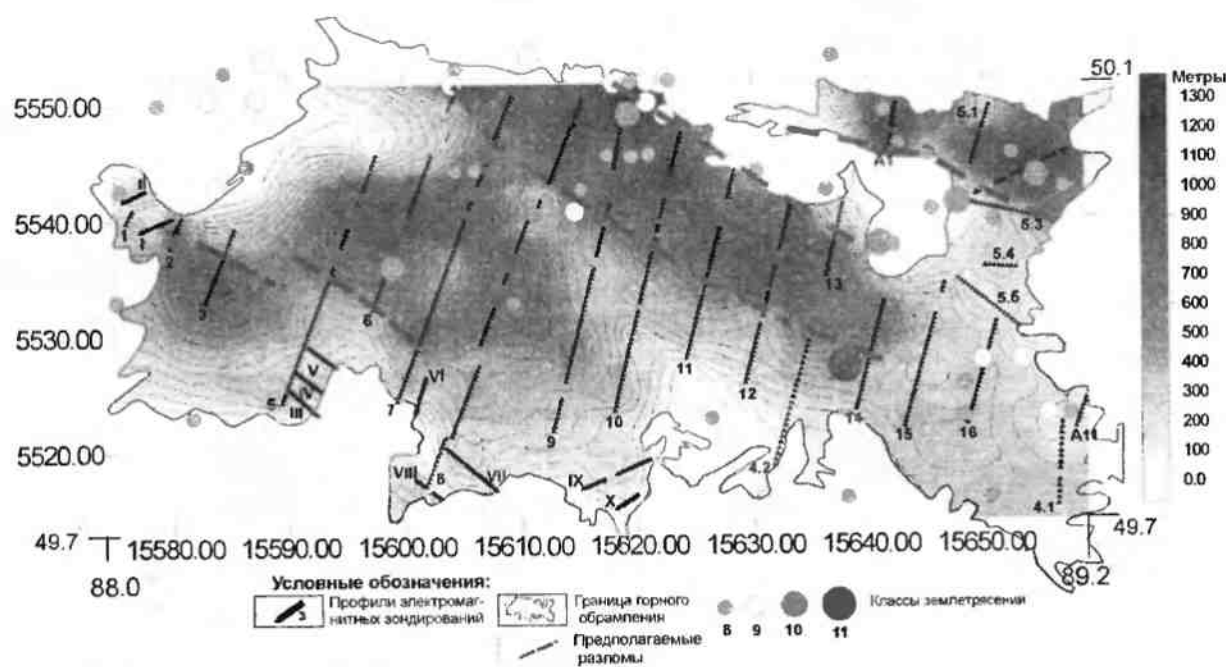


Рис. 4. Карта глубин до фундамента.

Осадочный чехол разделяется по сопротивлению в основном на три слоя: два верхних - относительно высокоомных и нижний - наиболее проводящий и мощный. Начнем с



характеристики самого нижнего слоя. Он имеет электрические сопротивления в интервале от 7 до 30 Омм и отнесен к палеоген-нижнеогеновому возрасту, включает кошагачские отложения, и возможно отложения другого возраста.

В среднем слое, отнесенном по скважинной информации к туерыкской свите, сопротивление, меняется от 50 до 200-300 Омм. В северной и западной части впадины свита представлена глинами с мергелями, известняками и грубообломочным материалом, соответственно и электрическое сопротивление здесь достаточно высокое ( в среднем 150 Омм). На юге и юго-востоке сопротивление пород этой свиты значительно ниже: около 60 Омм. Кроме того, этот слой на 11 и 12 профилях разделяется на два, достаточно контрастных по сопротивлению.

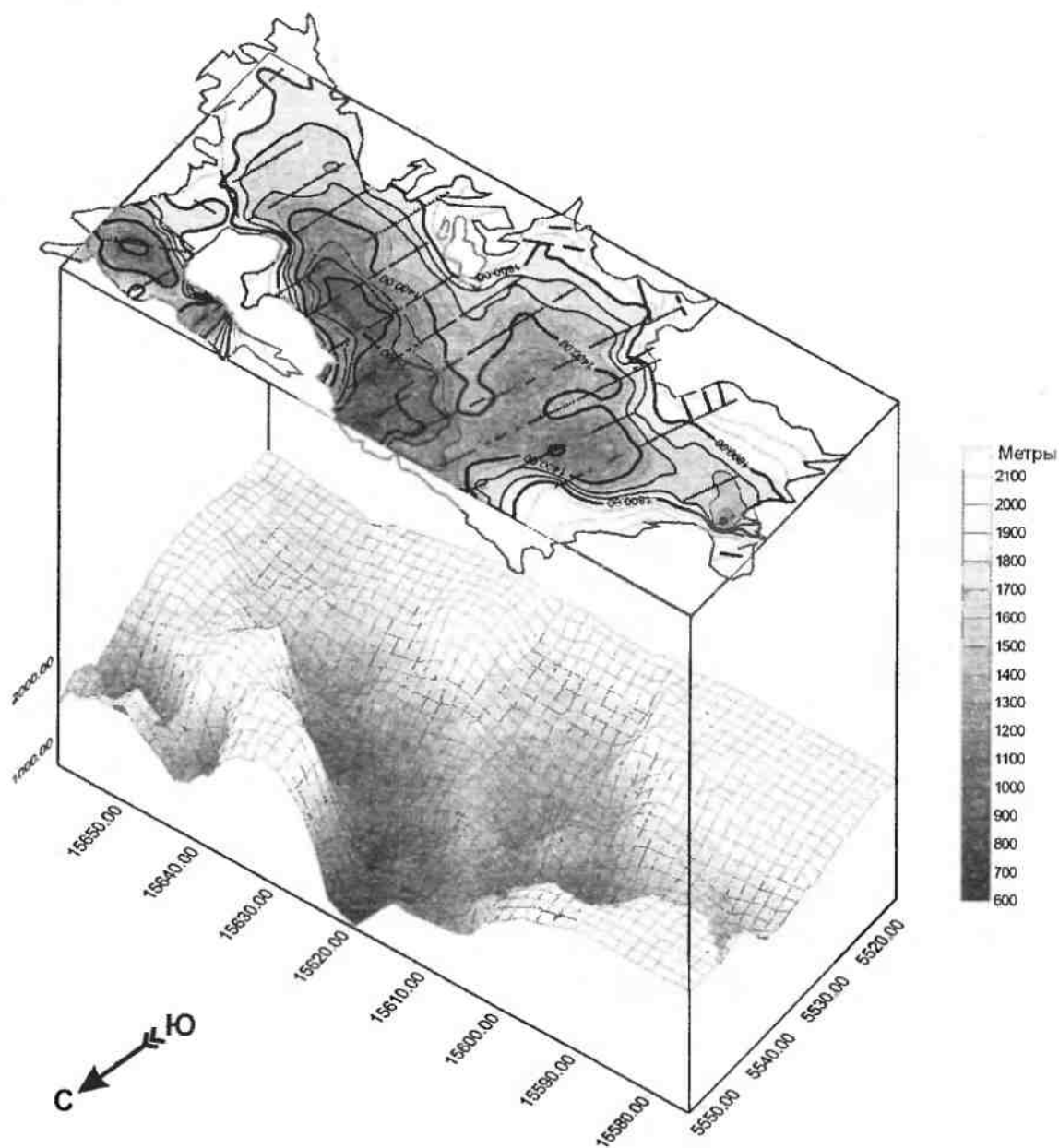


Рис. 5. Рельеф поверхности фундамента.

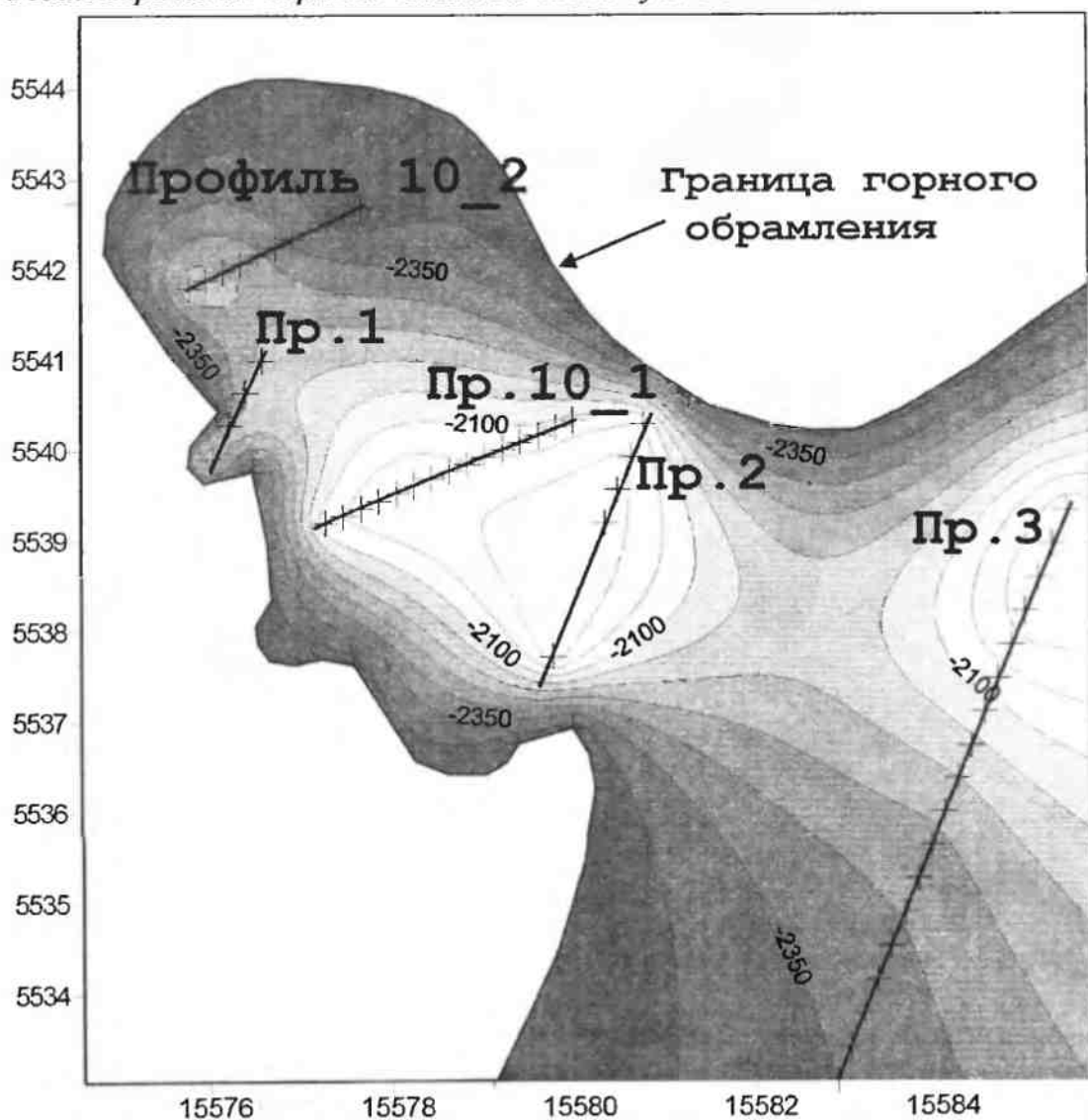
И наконец, самая верхняя часть разреза, наиболее высокоомная, характеризуется сопротивлением от 200 до 2000 Омм. Он сложен грубообломочными осадками различного генезиса, а также песчанистыми с примесью гальки отложениями бекенской свиты.

На рис. 4 приведена карта глубин до фундамента. Наиболее темным цветом показаны места наибольшего погружения фундамента. Как уже отмечалось, все они находятся у

северного борта впадины. На этом рисунке видно, что западный прогиб впадины в плане имеет достаточно сложную конфигурацию, он разделяется на три локальных впадины, разделенных перемычками. На рисунке показаны также основные разломные нарушения. Эти разломы закрыты свеху четвертичными отложениями и выделены по данным геоэлектрики. На рисунке показаны также эпицентры землетрясений за инструментальный период выше восьмого энергетического класса. Совместный анализ материала показал, что большая часть эпицентров попадает в зоны разломов, ограничивающих области наибольшего погружения фундамента. Два эпицентра относительно крупных событий 10 и 11 энергетических классов, расположенных в южной части впадины, также попадают на разломы, ограничивающие локальные опускания.

На рис 5 приведена модель поверхности фундамента впадины. Здесь явно выделяются разноглубинные трехмерные грабены с круто падающими бортами. Более подробное рассмотрение результатов интерпретации показывает, что на территории депрессии присутствуют, по крайней мере, два типа складчатости. Во-первых, наблюдается субширотная складчатость, под воздействием которой сформировались три основных локальных опускания: восточное, центральное и западное. Во-вторых, можно видеть субмеридианальную складчатость, сформировавшую менее интенсивные складки.

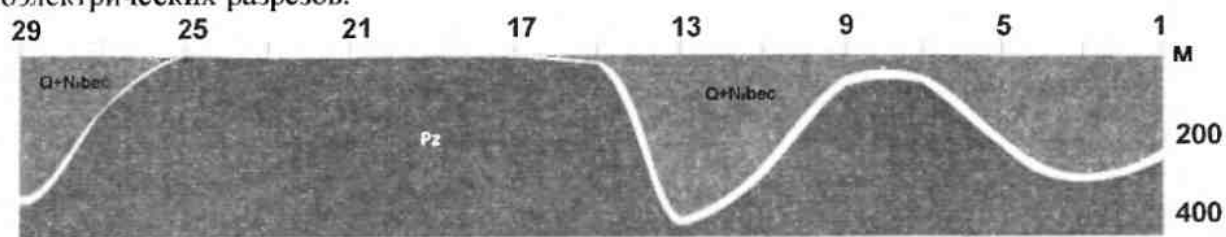
*Геоэлектрическое строение западной части Чуйской впадины.*



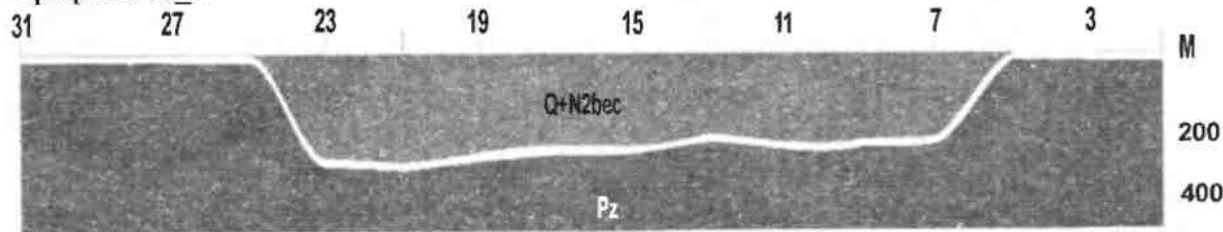
*Рис. 7. Карта рельефа дневной поверхности и профили наблюдений в западной части впадины.*

Как известно, 27 сентября 2003 года в Горном Алтае произошло сильное землетрясение с магнитудой 7.3. Очаг этого землетрясения располагался на территории Курайской впадины, Северо-Чуйского хребта, а также захватил западную часть Чуйской депрессии. В частности в пос. Бельтир наблюдались значительные разрушения. Сейсмодислокации в виде многочисленных разрывов и трещин проявились на дневной поверхности в бассейне рек Чаган-Узун, Чаган и Елангаш. На этом участке находятся профили электромагнитных зондирований № 1, 2, 3 с шагом съемки 400 метров, а также два профиля 10\_1 и 10\_2 с шагом съемки 200 метров. Рассмотрим более подробно геоэлектрическую ситуацию в западной части впадины.

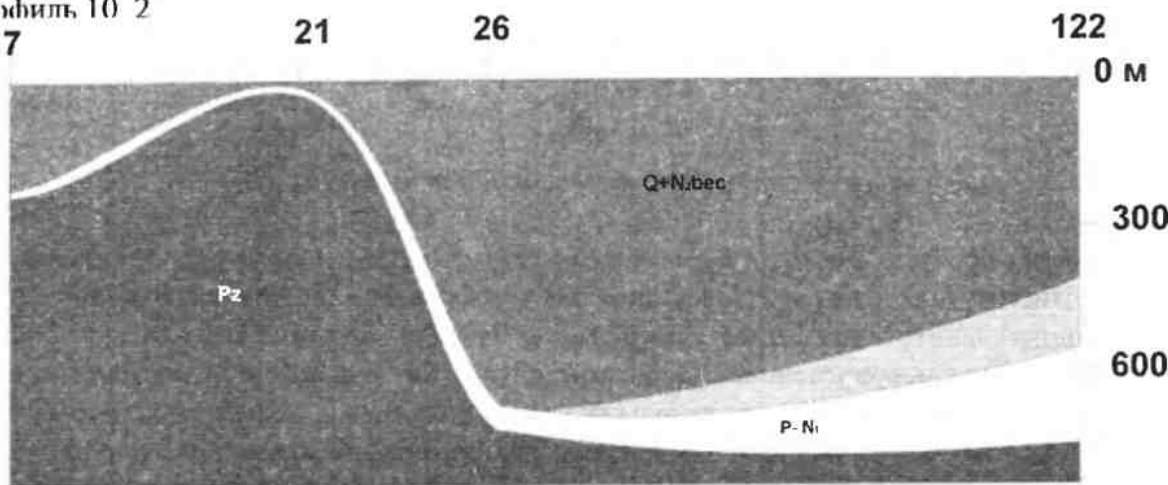
На рис. 7 показан примерный рельеф дневной поверхности и размещение профилей измерений. Можно видеть, что профили 10\_1, 2, 3 расположены на участке с относительно спокойным рельефом. Профили 10\_2 и 1 находятся ближе к горному обрамлению и здесь условия для постановки зондирований более трудные. Далее приведем несколько геоэлектрических разрезов.



Профиль 10\_1



Профиль 10\_2  
ЗС 7



- Pz** Фундамент,  
 $\rho = 800-2000 \text{ Ом м}$
- P-Ni** Палеоген-неогеновые  
отложения,  $\rho = 15-100 \text{ Ом м}$
- Q+N, bec** Верхняя часть разреза  
 $\rho = 500-2000 \text{ Ом м}$

1 км

Рис. 8. Поперечный разрез с северо-запада на юго-восток.

Только на профиле 10-2 наблюдается относительно горизонтально-слоистое строение осадочной толщи и фундамента. Поперечный разрез и профиль 10\_1 свидетельствуют о сложном блоковом строении западной части депрессии. Особенно наглядно это видно на трехмерной модели поверхности фундамента, представленной на рис. 9. Анализ полевого материала, полученного в западной части, показал наличие значительного числа кривых с искажениями характерными для сейсмоактивных территорий. Основная часть искажений обусловлена присутствием наклонных границ и практически вертикальных контактов, когда пункт измерения попадает в область тектонического разлома. Для описанного типа искаженных кривых проводится математическое моделирование с использованием одномерных и трехмерных программ для сложно построенных сред. Эти программы позволяют оценить влияние неоднородностей разреза. Более подробно математическое моделирование для геоэлектрических условий Чуйской впадины описано в работе [4].

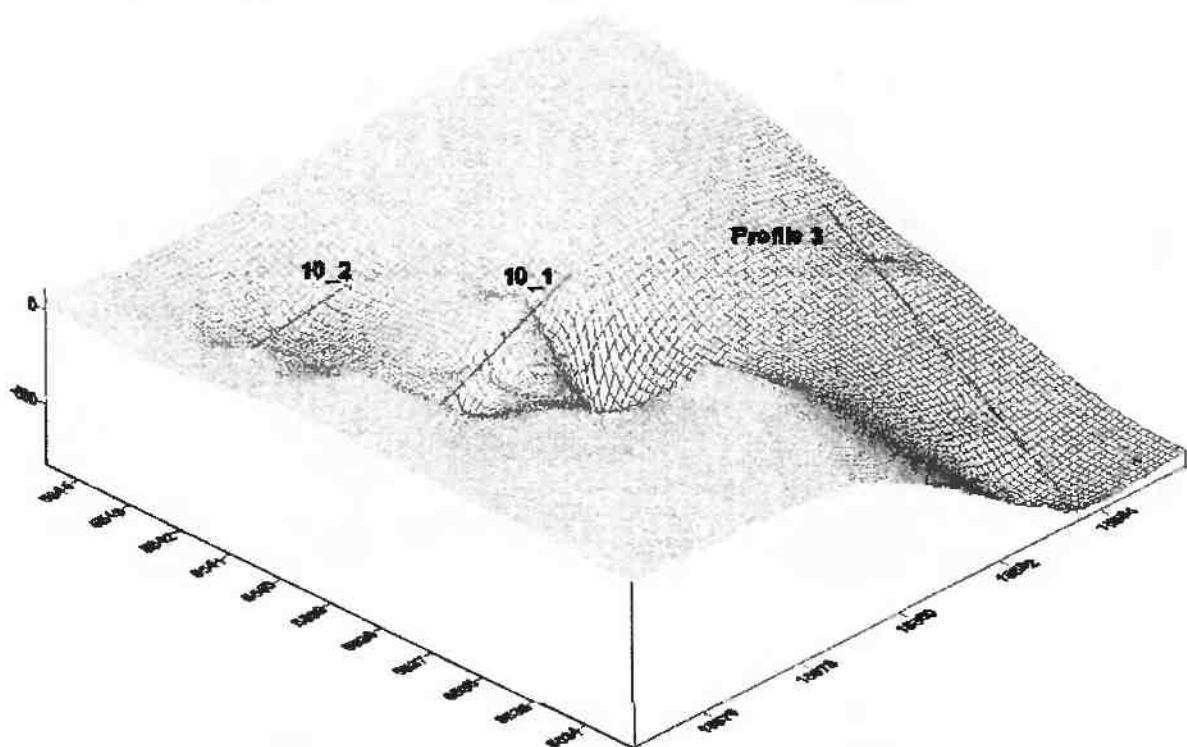
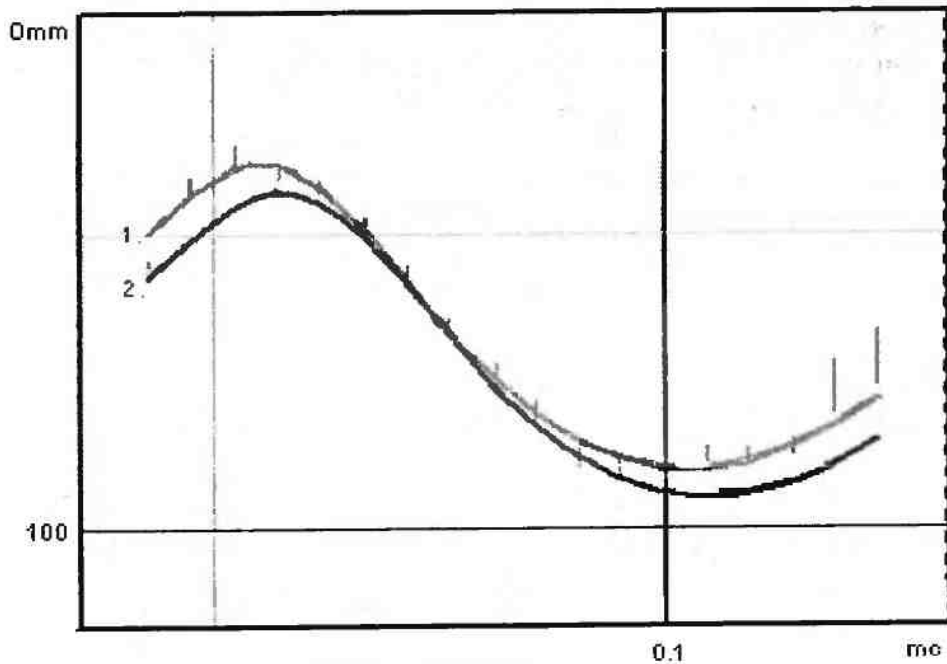


Рис. 9. Рельеф поверхности фундамента западной части.

В связи с происшедшим крупным сейсмическим событием лаборатория электромагнитных полей Института геофизики и Новосибирский университет планируют летом 2004 г. провести повторные электромагнитные измерения в Чуйской впадине по тем же профилям с сохранением размеров установок. Основной целью работ является определение современных геоэлектрических параметров разреза и выяснение динамики изменений после сейсмического события. Многочисленные трещины и обвалы, которые зафиксированы по долинам рек Чаган и Елангаш свидетельствуют, что изменились геометрические параметры разреза. В пониженных пойменных участках наблюдались многочисленные выбросы и разливы разжиженных пород верхней части разреза в виде грифонов и грязевых вулканчиков. В пойме реки Талдуры, Чаган-Узун, Чуи произошли площадные разливы обводненного песка и грязевой массы. Стадион в Бельтире был залит водой на глубину до 1.5 м. Установлено также, что достаточно резко изменились гидрогеологические и геохимические условия во всех имеющихся скважинах эпицентральной зоне землетрясения. Значения электрических параметров разреза находится в прямой зависимости от обводненности пород и флюидного режима региона. Резкое изменение этих условий приводит к значительному изменению электрических параметров.

ЭС № 19, профиль 10\_2

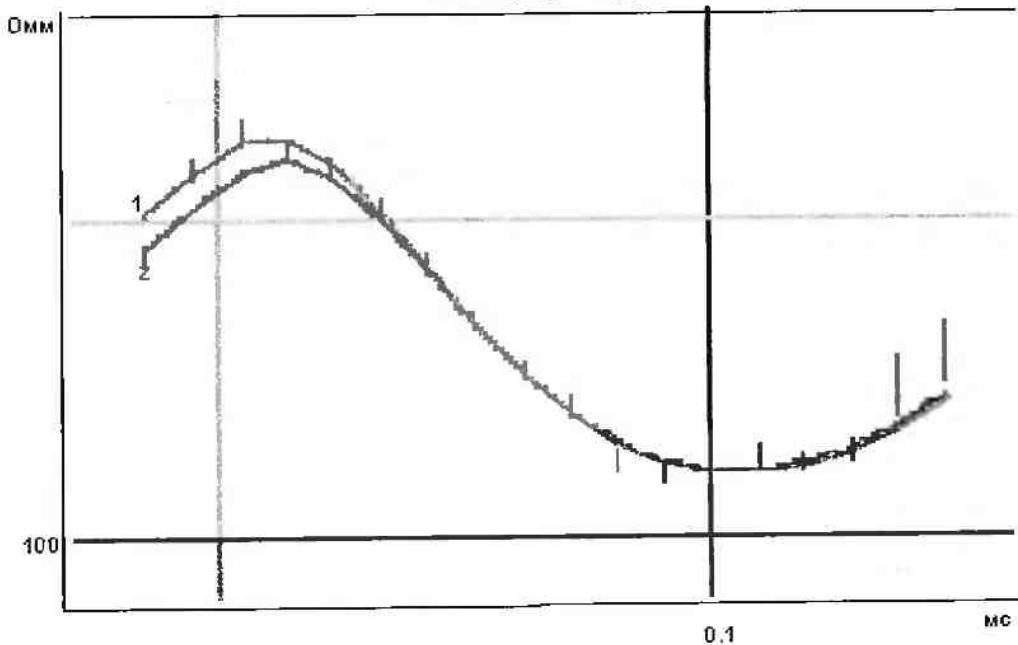


Геoeлектрические разрезы

1. Ro (Omm)	H(m)	2. Ro (Omm)	H(m)
40	10	46	10
1000	240	900	240
10	31	9	31
2000		2000	

Рассмотрим далее, как влияет изменение геoeлектрических условий на кривые электромагнитных зондирований. На рис. 10 приведены полевые данные и теоретические кривые для зондирования 19 на профиле 10\_2, а также геoeлектрические модели, для которых меняются параметры разреза. Изменения геoeлектрических параметров для этих моделей были выбраны небольшими (в пределах 5-10%). Рассмотрим вначале верхний рисунок.

ЭС 19, пр. 10\_2



Геoeлектрические разрезы

1. Ro(Omm)	H(m)	2. Ro(Omm)	H(m)
40	10	40	11
1000	245	1000	245
10	31	10	31
2000		2000	

Штрихами показаны полевые данные, теоретическая кривая красного цвета соответствует разрезу 1. Затем полагаем, что мощность первого слоя изменилась на 1 метр (разрез 2). Для разреза 2 кривая показана синим цветом. Можно видеть, что кривые зондирований существенно различаются в области максимума.

Для нижнего рисунка электрическое сопротивление всех слоев разреза модели 2 изменилось на 10 %. При этом можно наблюдать изменение кривой зондирования во всем временном интервале. Таким образом, при повторных электромагнитных измерениях даже при небольших изменениях геоэлектрических параметров разреза есть возможность это зафиксировать.

### **Заключение**

Методы электромагнитных зондирований успешно применяются в различных сейсмоактивных районах. Интерпретация полевых данных с использованием компьютерных технологий позволяет восстанавливать строение сложных тектонических объектов. Кроме того, электромагнитные методы обладают повышенной чувствительностью к изменению напряженного состояния горных пород, поэтому перспективны для проведения мониторинга. Для исследований в районе Чуйской впадины Горного Алтая, в данном случае сложилась благоприятная ситуация. Современная обработка полевых данных, полученных в 80-х гг. прошлого века позволила построить подробную геоэлектрическую модель депрессии. После проведения повторных работ есть возможность выяснить, как изменились параметры разреза депрессии в результате сильного сейсмического события.

### **Литература**

1. Е.В. Девяткин. Кайнозойские отложения и неотектоника юго-восточного Алтая. М. Наука. 1965. 242 с.
2. М.И. Эпов, Ю.А. Дашевский, И.Н. Ельцов. Автоматизированная интерпретация электромагнитных зондирований. Новосибирск. Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР. 1990. 29 с.
3. Методические рекомендации по анализу зондирований становлением поля в ближней зоне в горизонтально-неоднородных средах. Ред. Рабинович Б.И., Финогсев В.В. 1983. 46 с.
4. Неведрова Н.Н., Эпов М.И., Антонов Е.Ю. Геоэлектрические характеристики областей активной тектоники. Материалы геофизической конференции "Проблемы региональной геофизики", 5-7 декабря 2001 г., Новосибирск. С. 89.

# СИЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ В ЭПИЦЕНТРЕ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАК РЕЗУЛЬТАТ ВЫХОДА УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ

В.В. Кузнецов

ИКИР ДВО РАН, п.Паратунка, Камчатская обл., vvk@ikir.kamchatka.ru

Приводятся обобщенные результаты предварительного изучения сильных движений Чуйского землетрясения, полученные двумя экспедициями, организованными Институтом физики Земли и Горно-Алтайским университетом, во время которых изучены особенности сеймотектонических разрывов, обвалов и оползней, исследованы случаи вспучивания и проседания почвы, а так же данные по излиянию воды и грязи на поверхность и образованию грифонов. Предлагается объяснение особенностей сильных движений грунта в рамках ударно-волновой модели землетрясения. С этой целью представлена информация о поведении твердого вещества при выходе на его поверхность ударной волны, о возникновении при этом волны разрежения и взаимодействие этих волн, результатом которого является образование разрывов на поверхности, вспучивание поверхности твердого тела, возникновение сложной картины сильных движений поверхностного слоя за счет взаимодействия возникших волн. Получены оценки эффектов, обсуждаются пути и перспективы изучения уникального природного явления - очага Чуйского землетрясения.

## *Чуйское землетрясение на Горном Алтае ( $M = 7.5$ , 03/09/27)*

На юге Горного Алтая на территории Кош-Агачского района 27 сентября 2003 г. в 11 час. 33 мин. по Гринвичу произошло сильное землетрясение с магнитудой 7.5 (по оценке ГС СО РАН и 7.3 - по оценке ГС РАН), которое произвело значительные разрушения в селах Бельтир (8 баллов), Чаган-Узун, Ортолык, Курай, Акташ (6-7 баллов). Очаг землетрясения располагался на территории Северо-Чуйского хребта, Чуйской и Курайской межгорных впадин и разделяющего их Чаган-Узунского приподнятого блока.

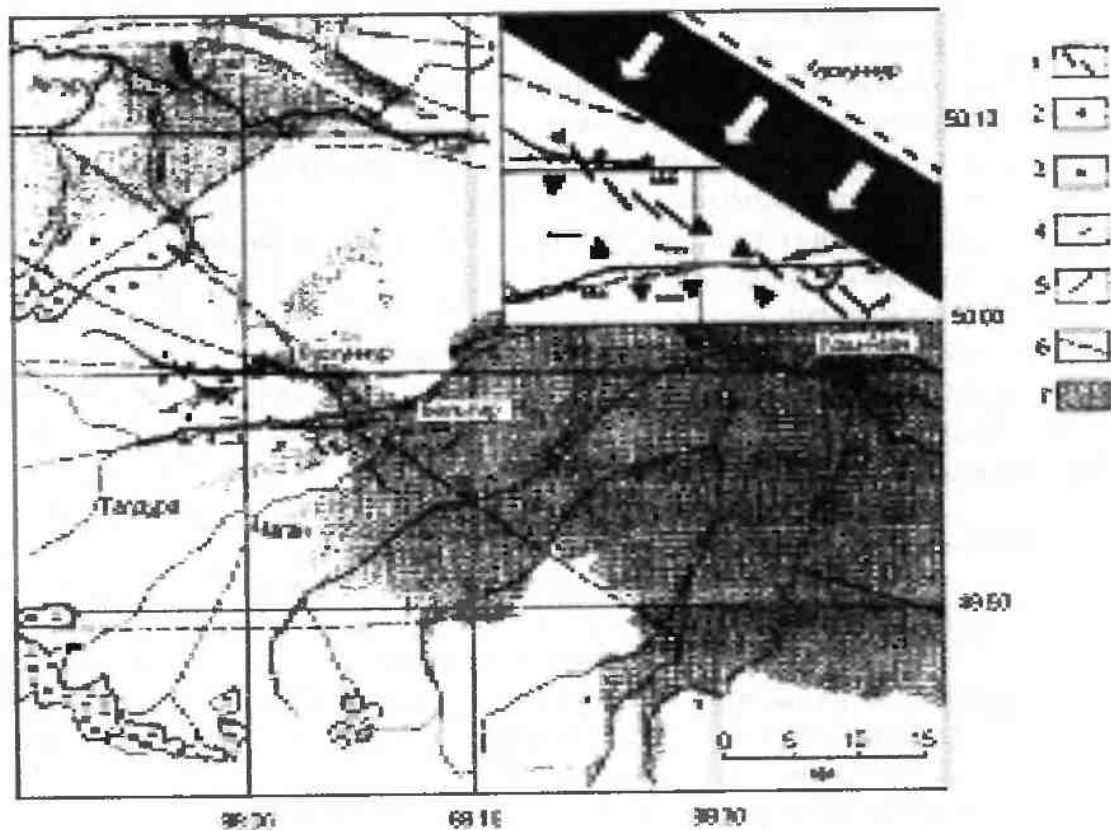
Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками. Наиболее сильные из них два: первый - 27.09.03 в 18 час. 52 мин. по Гринвичу с магнитудой  $M = 6.4$  и второй - 1.10.03 в 1ч. 03 мин. 28 сек. по Гринвичу с магнитудой 7.0. Главный удар афтершока 1 октября произошел в районе пос. Акташ, где отмечались повреждения зданий 7-ми, 8-ми бальной интенсивности.

Магнитуды, координаты основного толчка и двух афтершоков, а так же глубины гипоцентров по данным Международной Сейсмологической сети USGS, National Earthquake Information Center, соответственно: 1) 2003/09/27 11:33  $M 7.5 Z = 18$  км 50.06N 87.73E; 2) 2003/09/27 18:52  $M 6.3 Z = 33$  км 50.08N 87.81E; 3) 2003/10/01 01:03  $M 6.7 Z = 10$  км 50.19N 87.67E. Наибольший интерес для нас представляют точные параметры Главного удара. По предварительным данным Геофизической службы СО РАН, его координаты: 49.8N 88.3E, что значительно отличается от данных международной сети.

Согласно уточненным данным, координаты гипоцентра Главного удара: 50.09N 87.98E, глубина 18 км. Так же уточнены глубины гипоцентров сильных афтершоков, которые не превышают глубины основного толчка, т.е. меньше или равны 18 км.

Область первичных, сильных разрушений поверхности Земли (область выхода очага на поверхность) можно изобразить в плане как прямоугольник со сторонами 5 20 км<sup>2</sup>, причем, его 20-ти километровая сторона проецируется на разлом Кускуннур. Зная координаты гипоцентра и размер области афтершоков, очаг землетрясения можно представить в виде параллелепипеда размером 5 20 18 км<sup>3</sup>, длинная грань которого ориентирована вдоль разлома Кускуннур, а его боковые поверхности наклонены к поверхности земли на угол примерно 65° в юго-западном направлении. По-видимому, главный удар Чуйского землетрясения пришелся именно под этим углом к поверхности. Вероятно, два главных афтершока можно рассматривать как землетрясения,

которые внесли свой "вклад" в сильные движения грунта. К сожалению, оценить направления главных ударов этих землетрясений с желаемой точностью, вероятнее всего, не удастся. Судя по характеру афтершоков и особенностям разрушений (со слов очевидцев) направления главных ударов этих землетрясений отличались от главного толчка. Их наиболее вероятные направления: второго, - на северо-восток, в направлении с. Чаган-Узун; третьего, - на северо-запад, вдоль по разлому Кускуннур, в направлении альплагеря Актру (см. рис. 1).



*Рис. 1. Карта распространения сейсмодислокаций [1]: 1 - сейсмоструктурные разрывы; 2 - обвалы и осыпи; 3 - разжижения грунта; 4 - оползни; 5 - сейсмогравитационные трещины отрыва и оседания; 6 - разломы; 7 - озерные и ледниковые отложения.*

*В верхнем правом углу схема: стрелками отмечено направление главного удара землетрясения и область очага, обозначенная черной линией, показывающей расположение гипоцентров афтершоков. Прерывистая линия показывает разлом Кускуннур.*

### **Результаты предварительного изучения сильных движений Чуйского землетрясения**

Участники экспедиции в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения от Горно-Алтайского университета (время работы - первые числа октября) обнаружили трещины уже в с. Курай, а также по дороге на Актру. В Курае трещина шириной до 10 см и длиной порядка 100 м образовалась в районе болота на окраине села. По дороге на Актру трещины наблюдались обычно вдоль крутых откосов, ширина их была 1-2 см, длина не превышала 5 м. Похожие трещины, но большей протяженности наблюдались на Чуйском тракте в районе Чаган-Узуна. На въезде в с. Бельтир в результате оползня было порвано дорожное полотно (этот случай широко известен благодаря снимкам в прессе). Одна из трещин прошла через с. Бельтир, вдоль ул. Москанова, значительно повредив дома, которые на нее попали. Ширина трещины около 1 м, глубина проседания грунта - от 0.5 м до 1 м. Были обследованы несколько трещин протяженностью порядка 1 км на плато Ада-Кель. Со слов местных жителей известно, что в эпицентре землетрясения (урочище Узук) образовалось две большие трещины, идущие в направлении Карагема и Кускуннура.

Наиболее подробно следы сильных движений (макросейсмичность) изучены совместной



группой Института физики Земли и Алтайского университета. Результаты предварительного изучения сильных движений Чуйского землетрясения 2003 представлены в [1]. В дальнейшем, в этом разделе будем в основном цитировать эту работу, иногда привлекая неопубликованные данные очевидцев. Нарушения рельефа, по оценке авторов [1], образуют овал длиной 70 км и шириной около 15 км. Этот овал вытянут вдоль простирания разрыва (СЗ-ЮВ) и хорошо коррелирует с ориентировкой длинной оси овального облака эпицентров афтершоков. Концентрация вторичных сейсмодислокаций меняется, затухая по мере удаления от линейной вытянутой области выхода очага на земную поверхность. Обсуждая итоги предварительных исследований сильных движений Чуйского землетрясения, будем следовать авторам [1], которые выделяют четыре вида нарушений: 1) сейсмотектонические разрывы, 2) обвалы и оползни, 3) вспучивание и проседание почвы и 4) излияние воды и грязи на поверхность и образование грифонов.

### ***Сейсмотектонические разрывы, вспучивание и проседание почвы.***

В ходе вспарывания земной коры, очаг землетрясения вышел на поверхность в виде системы первичных сейсморазрывов, прослеженной на протяжении 20 км в бассейне р. Чаган-Узун на восточном погружении Северо-Чуйского хребта (рис. 2). Первичный характер разрывов характеризуется их морфологией и то, что эти трещины представляют собой систему параллельных рвов, секущих различные формы рельефа. Эта система вытянута в северо-западном направлении на протяжении 20 км.

Сейсмотектонические разрывы представляют собой эшелонированную систему трещин сжатия и расширения, укладываемую в линию СЗ простирания. Такая структура сейсмотектонического разрыва характеризует подвижку в очаге как сдвиг в горизонтальной плоскости. Строение зоны сейсморазрывов несколько отличается для различных участков. Так, например, на водоразделе рек Чаган и Елангаш разрыв разветвляется на две основных трещины, которые затем смыкаются, представляясь трещинами СЗ ориентировки (рис. 2-а). По западной ветви наблюдается правостороннее смещение на 0,5 м, по восточной, - смещение достигает 0,2 м. Блок, заключенный между этими рвами, опущен на 0,2-0,3 м и рассечен многочисленными диагональными трещинами. Поперечные разрывы перемежаются вспучиваниями и напользанием почвы высотой 0,3-0,7 м. Картина разрушений в долине реки Талдуры несколько отличается. Здесь аллювиальные отложения рассечены рвами шириной до 2 м и длиной до 50 м. и закрытыми трещинами с амплитудой правого сдвига 0,1-0,2 м. Трещины сопровождаются линейными зонами с деформировали земную поверхность в широкой седловине на водоразделе рек Талдура-Кускунур. Ширина седловины составляет около 4 км, сложена она отложениями морены среднего плейстоцена. Зона сейсморазрывов здесь имеет субширотное простирание. Сами сейсморазрывы выстраиваются в эшелонированную систему зияющих рвов, смыкающихся линейными зонами сжатия (рис 2-б). Сейсморвы в этой районе принимают колоссальные масштабы, характеризуясь шириной до 10 м, длиной до 300 м и глубиной более 30 м. По отдельным зияющим разрывам амплитуда правого сдвига составляет 0,5 м. Зоны сжатия здесь представляют собой валы вспучивания высотой до 2 м и длиной до 50 м и надвиги, сдвигающие слои почвы. Сейсморазрывы разветвляются на две ветви и зажимают между собой просевшие блоки (микрограбены). На восточном борту седловины ширина такого микрограбена составляет не более 50 м, а амплитуда опускания около 0,5 м. На западном склоне просевший блок имеет ширину до 500 м и опущен с амплитудой до 2,5 м. Авторы отмечают, что в зоне эпицентра Чуйского землетрясения находят следы предыдущих землетрясений. Землетрясения, происходившие ранее, так же как современные, были следствием разрядки одного и того же очага. Чуйское землетрясение, по всей видимости, не является уникальным, - оно лишь несколько "обновило" следы прошлых, возможно, более сильных землетрясений. Этот факт однозначен демонстрирует, что очаг сильного землетрясения оказывается "привязанным" к определенной геологической структуре.

### Обвалы и оползни.

Одно из наиболее эффектных и впечатляющих последствий Чуйского землетрясения (по мнению Гвоздарева) находится в урочище Арха-Узюк, где произошло нарушение рыхлого осадочного чехла на склоне, ослабленном вечной мерзлотой. После землетрясения в этом районе сошел оползень шириной около 1 км, вся его поверхность при этом была разбита сетью трещин шириной 1-3 м и глубиной до 10 м и более. Рядом с оползнем образовались ряд трещин сходных размеров. Несколько трещин прошло вдоль по хребту. В дальнейшем возможно сползание блоков, на которые эти трещины разбили склон. Само название места (в переводе - "оборванный лес") говорит о том, что подобное явление там наблюдается не в первый раз. По-видимому, самый масштабный след землетрясения - крупный оползень на правом берегу реки Талдура, приурочен к зоне выхода очага на поверхность, причем стенка отрыва оползневых масс точно ложится в зону распространения первичных сейсморазрывов, один из которых, по мнению авторов, мог служить "заколом" на поверхности склона, инициировав при этом, сход оползня. Оползень отсел по стенке отрыва высотой около 150 м и продвинулся в долину на расстояние не меньше 100 м. Объем оползневой массы по приблизительным подсчетам составляет около 30 млн. м<sup>3</sup>. Ширина оползневого тела более 500, длина - около 700 м. Подобные оползни меньших масштабов образовались на склонах долин рек Чаган и Чаган-Узун.

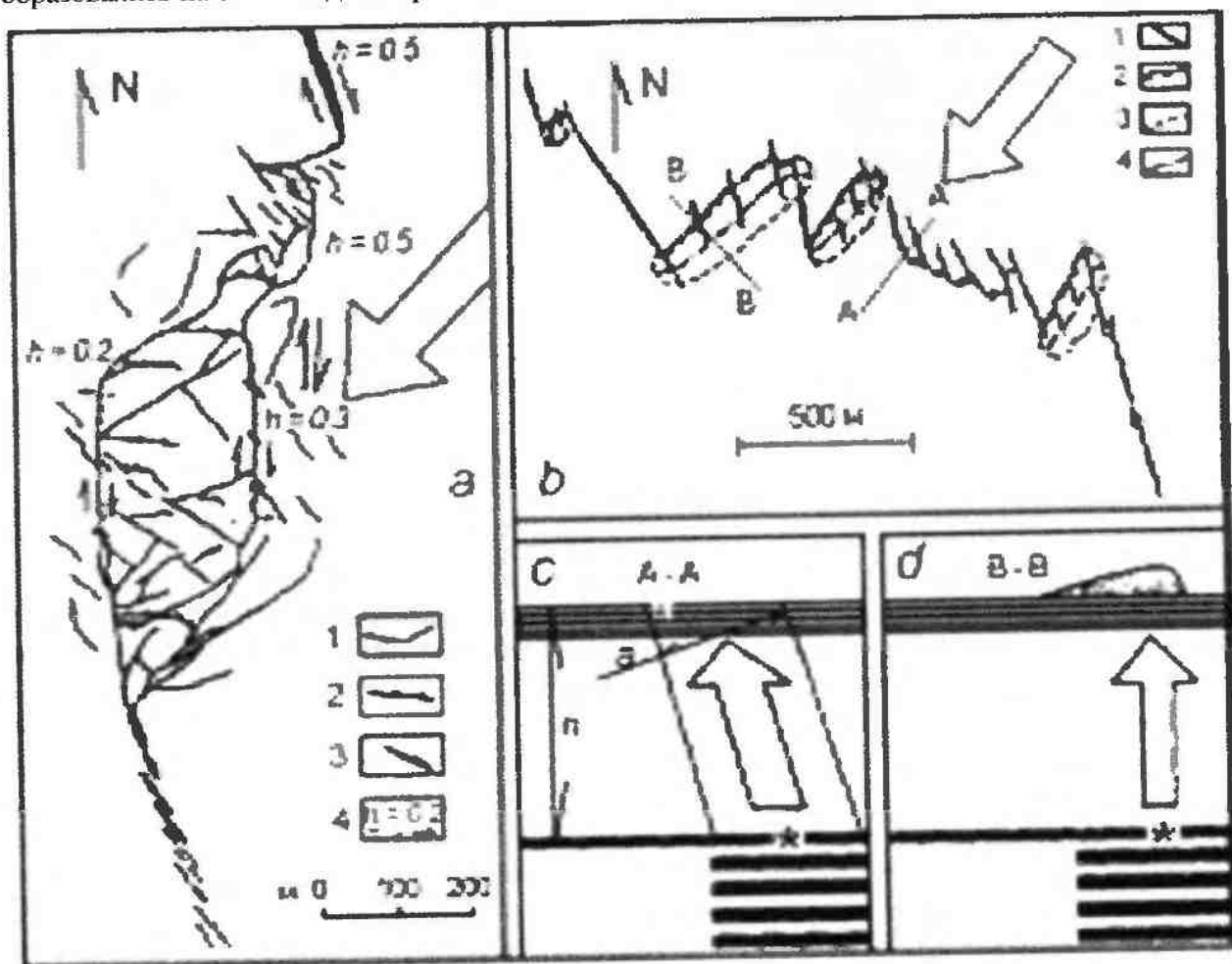


Рис. 2. Слева: (а) структура сейсморазрыва на водоразделе рек Чаган и Елангаши: 1 - закрытые трещины и разрывы, 2 - валы вспучивания, 3 - сейсморвы, 4 - амплитуда (м) и направления смещения. Большая стрелка - направление главного удара, параллельные стрелки - направления подвижек почвы. Справа сверху: (б) структура сейсморазрыва на водоразделе р. Талдура-Кускушур. 1 - сейсморвы; 2 - бровки валов вспучивания; 3 - контуры валов вспучивания; 4 - оси валов вспучивания. Справа внизу: (с, d) разрезы по А-А и В-В, звездочка - гипоцентр, стрелка - направление главного удара, а - фронт УВ.

Основной толчок и самые сильные афтершоки землетрясения сопровождались массовыми обвалами и осыпными явлениями. Часто обвалы наблюдались на склонах, с углом наклона, менее угла естественного откоса (25°). В отложениях осыпей долины р. Актру наблюдается аномальное распределение обломков разной величины: в верхней части большинства осыпных конусов сконцентрированы наиболее крупные обломки, что свидетельствует о развитии импульсных обвальных явлений.

### **Грифоны.**

Одним из удивительных явлений, сопутствующих этому землетрясению являются выбросы и разливы разжиженного песка и грязи в виде грифонов или грязевых вулканчиков. Приурочены они в основном к низменным водонасыщенным рыхлым породам (глины, суглинки, пески), способным при динамических воздействиях, в частности при землетрясениях 7 и более баллов, "разжижаться" до текучего состояния и изливаться на поверхность. При этом образуются грифоны в виде конических или песчанно-глинистых "вулканчиков" воронкообразной формы. По оценке, приводимой Гвоздаревым, объем воды, выброшенной каждым из обследованных ими грифонов, составляет около 100 куб. м. Во время экспедиции, этой группой, только с машины, на дороге Курай - Актру было замечено 8 таких грифонов, хотя их было, конечно, значительно больше. Авторы [1] описывают грифоны, в которых наблюдается выброс глины на поверхность в виде слоя толщиной не менее одного метра и занимаемой площадью около 50 м<sup>2</sup>. Объем песчанно-глинистой грязевой массы такого грифона, без учета ушедшей воды, значительно больше, он превышает 1000 куб. м. Количество грифонов в эпицентральной зоне никто не подсчитывал, по общему впечатлению, грифонов очень много. Известно, что грифоны бывают не только грязевые, а так же пылевые и песочно-пылевые "вулканчики", которые неоднократно наблюдались во время Ташкентского землетрясения 1966 г.

Отметим важную геологическую особенность района, которую необходимо учитывать при построении модели сильных движений, и которая состоит в том, что сильные движения в основном происходят в слое грунта толщиной не более 20-30 м, а нижней границей слоя является верхняя граница вечной мерзлоты. На это обратил внимание автора А.Ю.Гвоздарев. Если наличие слоя вечной мерзлоты в районе эпицентра Чуйского землетрясения подтвердится, - это должно значительно отличать сильные движения Алтайских землетрясений, например, от макросейсмичности Калифорнийских.

### **Общие закономерности при выходе ударной волны на поверхность Земли**

#### **Основные соотношения для ударных волн (УВ) [2-4]:**

Закон сохранения массы:

$$\rho_n D = \rho_0 (D - u_n) \text{ или } u_n + \epsilon D = 0, \quad (1)$$

где  $\rho_n$  - плотность вещества на фронте волны,  $\rho_0$  - невозмущенная плотность,  $D$  - скорость распространения фронта волны,  $u_n$  - скорость течения среды за фронтом ударной волны.

Закон сохранения импульса:

$$-\sigma_n = p_n - p_0 = \rho_0 u_n D \quad (2)$$

где  $p_0$  - начальное давление среды (до прохождения ударной волны),  $p_n$  - давление на фронте ударной волны.

Уравнение сохранения энергии имеет классический вид:

$$E_n - E_0 = \frac{1}{2} (p_n - p_0) (v_0 - v_n), \quad (3)$$

где  $E_o$  и  $E_n$  - внутренняя энергия до фронта ударной волны и за её фронтом,  $v_o$  и  $v_n$ , соответственно, - удельные объемы ( $v = 1/\rho$ ).

В неподвижной среде ( $u_o = 0$ ) соотношения скоростей на фронте ударной волны представляются в виде:

$$\begin{aligned} D &= [\rho/\rho_o (p-p_o)/(\rho-\rho_o)]^{1/2}, \\ u &= [1/\rho \rho_o (p-p_o)(\rho-\rho_o)]^{1/2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Уравнения (4) справедливы для сухого грунта. Если грунт водонасыщенный, то  $D$  и  $u$ , после подстановки уравнения состояния водонасыщенного грунта в виде [2]:

$$\rho = \rho_o \{ \alpha_1 (p/p_o)^{-1/k_1} + \alpha_2 [k_2(p-p_o)/\rho_2 c^2 + 1]^{-1/k_2} + \alpha_3 [k_3(p-p_o)/\rho_3 c^2 + 1]^{-1/k_3} \}^{-1}$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  - содержание компонент (по объему): воздуха, воды и твердого грунта, соответственно, ( $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 0$ ),  $k_1, k_2, k_3$  - показатели изоэнтропии соответствующих компонент; будут определяться следующим образом:

$$\begin{aligned} D^2 &= (p-p_o)/\rho_o \{ 1 - \alpha_1 (p/p_o)^{-1/k_1} - \alpha_2 [k_2(p-p_o)/\rho_2 c^2 + 1]^{-1/k_2} - \\ &\quad - \alpha_3 [k_3(p-p_o)/\rho_3 c^2 + 1]^{-1/k_3} \}^{-1}; \\ u^2 &= (p-p_o)/\rho_o \{ 1 - \alpha_1 (p/p_o)^{-1/k_1} - \alpha_2 [k_2(p-p_o)/\rho_2 c^2 + 1]^{-1/k_2} - \\ &\quad - \alpha_3 [k_3(p-p_o)/\rho_3 c^2 + 1]^{-1/k_3} \}. \end{aligned} \quad (5)$$

Пористость грунта, иначе, суммарная концентрация воздуха и воды ( $\alpha_1 + \alpha_2$ ) являются определяющими при оценке величин скоростей  $D$  и  $u$ . Увеличение концентрации заземленного воздуха снижает величину скорости ударной волны  $D$  и приводит к увеличению массовой скорости течения грунта  $u$ .

Экспериментально неоднократно отмечалось, что при прохождении УВ через среду происходит "разрыв" фронта (толщиной  $l$ ). Принято считать, что этот эффект связан с переходом среды в квазизжидкое состояние, характеризующееся наличием у среды динамической вязкости [5]. Например, в прессованном порошке соли NaCl, при прохождении ударной волны ( $u = 10^3$  м/с,  $l = 10^{-3}$  м,  $\tau = 10^{-6}$  с) разрыв фронта соответствовал вязкости  $\eta = 10^4 - 10^5$ . Вязкость сплошного материала каменной соли имеет порядок  $10^{14} - 10^{15}$  Пз, что на десять порядков меньше вязкости, наблюдаемой в ударных экспериментах. Можно оценить величину вязкости по параметрам колебательного неустойчивого характера сильных движений почвы при Нортриджском землетрясении 1994 г. При этом вертикальный размер пространства, на котором наблюдался колебательный процесс в эпицентре землетрясения:  $a \approx 1$  м, величина напряжения в главном толчке землетрясения:  $\sigma \approx 100$  бар, а скорость колебаний частиц грунта  $v$  достигала 1 м/с. Знание этих параметров позволяет оценить величину вязкости "жидкой" среды:  $\eta = \sigma a/v \approx 10^5 - 10^6$  Пз. Полученные оценки вязкости показывает, что вещество грунта в момент землетрясения в его эпицентре находится в "жидком" состоянии. Это обстоятельство позволяет воспользоваться формулами Эйлера, Навье-Стокса и Пуазейля для течения жидкости, соответственно:

$$dv/dt = F - 1/\rho \text{ grad } p \quad (6)$$

$$dv/dt = F - 1/\rho \text{ grad } p + \chi dv, \quad (7)$$

$$v = \int_S u dS. \quad (8)$$

$$p = p_0 \left( \alpha_1 (p/p_0)^{-1/\kappa_1} + \alpha_2 \left[ \kappa_2 (p - p_0) / p_0 c^2 + 1 \right]^{-1/\kappa_2} + \alpha_3 \left[ \kappa_3 (p - p_0) / p_0 c^2 + 1 \right]^{-1/\kappa_3} \right)^{-1}$$

$$D = [p/p_0 (p - p_0) / (p - p_0)]^{1/2}$$

$$w = [1/p p_0 (p - p_0) / (p - p_0)]^{1/2}$$

(4)

$$D^2 = (p - p_0)/\rho_0 \left\{ 1 - \alpha_1 (p/p_0)^{-1/k_1} - \alpha_2 \left[ k_2 (p - p_0)/\rho_2 c^2_2 + 1 \right]^{-1/k_2} - \alpha_3 \left[ k_3 (p - p_0)/\rho_3 c^2_3 + 1 \right]^{-1/k_3} \right\}^{-1};$$

$$u^2 = (p - p_0)/\rho_0 \left\{ 1 - \alpha_1 (p/p_0)^{-1/k_1} - \alpha_2 \left[ k_2 (p - p_0)/\rho_2 c^2_2 + 1 \right]^{-1/k_2} - \alpha_3 \left[ k_3 (p - p_0)/\rho_3 c^2_3 + 1 \right]^{-1/k_3} \right\}. \quad (5)$$

$$dv/dt = F - 1/\rho \text{ grad } p$$

(6)

$$dv/dt = F - 1/\rho \text{ grad } p + \chi dv,$$

(7)

$$v = \int_S u dS,$$

(8)



где  $F$  - внешняя сила,  $\chi = \eta/\rho$  - кинематическая вязкость.

**Скорости волн.** Воспользуемся подходом, развитым для оценки скоростей перемещений частиц упругой среды под действием силы, приложенной в очаге землетрясения. Этот подход был предложен Кейлис-Бороком и развит Матуямой ([6] с. 40). Скорость перемещения в горизонтальной плоскости:

$$u = 1/4\pi r [\partial^2/\partial x^2 (\varphi - \psi) + \nabla^2 \psi], \quad (9)$$

где  $\varphi$  и  $\psi$  сферические волны вида:  $\varphi = (1/r) F [t - (r/V_p)]$ ;  $\psi = (1/r) F [t - (r/V_s)]$ . Эти волны распространяются на расстояние  $r$  со скоростями  $V_p$  и  $V_s$  соответственно [6]. Функция  $F(t)$  связана с силой  $f(t)$ :  $f(t) = d^2 F(t)/dt^2$ . Развитый Матуямой подход имеет значение для нашей модели в том плане, что речь идет не прямо о Р- и S-волнах, а о волнах, имеющих скорости, близкие к скоростям распространения Р- и S-волн.

По-видимому, некоторые авторы допускают ошибку, утверждая, что воздействие на грунт именно S-волны - приводит к разрушениям в гипоцентре землетрясения. Согласно представлений Матуямы, правильнее говорить о волнах, двигающихся со скоростями, близкими (или равными) скоростям Р- и S-волн. Как известно из физики ударных волн, сильная ударная волна распространяется со скоростью  $D$ , близкой к скорости Р- волн. Соответственно, чем слабее ударная волна, тем меньше её скорость распространения, и, в пределе, она может быть равной скорости распространения S-волны:  $D \rightarrow V_s$ .

#### **Особенности распространения ударных волн в грунтах.**

Приведем некоторые данные по особенностям распространения ударных (взрывных) волн в грунтах [2, 5]. При камуфлетном (подземном) взрыве наблюдается так называемое геометрическое подобие (скейлинг) по корню кубическому из энергии взрыва  $E$  [5]. Данные по многим параметрам движения среды при взрыве удается свести к универсальным зависимостям, если использовать в качестве линейного масштаба комбинацию  $(E/\rho c^2)^{1/3}$ . Большое количество проведенных экспериментов по изучению давления в ударной волне от расстояния и количества взрывчатого вещества подтверждает зависимость [2]:

$$p = p_0 (C^{1/3}/R), \quad (10)$$

где  $p_0$  - начальное давление в атм.,  $R$  - расстояние от взрыва до точки измерения в метрах,  $C$  - вес взрывчатого вещества в кг.

Для широкого набора различных грунтов, как водонасыщенных, так и сухих, используется следующая формула:

$$p = K(C^{1/3}/R)^\mu, \quad (11)$$

здесь  $K$  и  $\mu$  - коэффициенты, величины которых приведены в Таблице 1.

Для того чтобы перейти от веса взрывчатого вещества к энергии и применить формулу (?) в нашей ситуации, воспользуемся соотношением между энергией и весом тротила. Известно, что удельная кинетическая энергия тротила равна 4 кДж/г. Положим, что сейсмическая энергия и энергии взрывчатых веществ эквивалентны. Энергия землетрясения с магнитудой  $M = 7.5$  равна  $10^{27}$  эрг, ( $10^{13}$  кДж), что эквивалентно  $10^{12}$  г (одна мегатонна) тротила, тогда параметр  $C^{1/3} \approx 10^3$  кг<sup>-1/3</sup>. Давление  $p$  в очаге (на фронте ударной волны) Чуйского землетрясения ( $M = 7.5$ ), по-видимому, может достигать 1 кбар. (Для сравнения, давление на фронте УВ в момент Нортриджского землетрясения  $M = 6.7$ ,  $E = 10^{22}$  эрг, порядка 100 бар). Давление на фронте ударной волны (волны сжатия) на расстоянии 650 км от очага, в Новосибирске, если принять самые высокие значения

коэффициента  $K$  из Таблицы 1, оказывается порядка 1 бара. Очевидно, что эта оценка, по-видимому, наиболее высокая из всех возможных. Если, к примеру, параметр  $K$  будет меньше, а  $\mu$  – больше, то давление  $p$  будет меньше чем 1 бар (1 атмосфера) на несколько порядков.

Величина смещения грунта во время главного толчка Чуйского землетрясения (по данным, полученным А.Г.Филиной на Новосибирской сейсмостанции), составляет примерно 50 микрон. Зная величину смещения, можно оценить деформацию  $\epsilon$ , производимую проходящей волной:  $\epsilon \approx (1 - 5)10^{-3}$ . Согласно [2] величина напряжения  $\sigma$  водонасыщенного грунта, соответствующая  $\epsilon = 0.1$ , составляет примерно 500 бар и эта величина возрастает линейно с ростом  $\epsilon$ :  $\sigma \sim \epsilon$ . Эта закономерность дает основание оценить  $\sigma = p \approx 5$  бар при  $\epsilon \approx 10^{-3}$ . Аналогичная зависимость ( $\sigma \sim \epsilon$ ) для вакуумированного песка приведена в [Н], откуда следуют примерно те же цифры для величины  $\sigma$ . Скорость звука в таком грунте  $\approx 400$  м/с. По-видимому, реальная величина меньше, однако эти оценки показывают (при различных способах их получения) один порядок величин напряжения в волне. Скорость распространения волны, амплитуда которой составляет 5 бар, от очага Алтайского землетрясения до сейсмостанции Новосибирск, расположенной примерно в 650 км от очага равна 3.6 км/с. Это намного больше, чем местная (в грунте) скорость звука. Возникает вопрос, что это за волна (ударная или нет) приходит к сейсмостанции, расположенной так далеко (650 км) от очага землетрясения? Согласно представлениям, развиваемым в [2], волна такой амплитуды ударной быть не должна. Однако, если производная  $d^2\sigma/d\epsilon^2 > 0$ , волну можно считать ударной вне зависимости от величины  $\sigma$  [Л стр. 52]. Если условие  $d^2\sigma/d\epsilon^2 > 0$  не выполняется, – волна считается плоской волной сжатия, которая распространяется в упруго-пластической среде.

Таблица 1

Характеристика грунта	$K$	$\mu$
Водонасыщенный песок с $\alpha = 0$	600	1.05
Водонасыщенный песок с $\alpha = 5 \cdot 10^{-4}$	450	1.5
Водонасыщенный песок с $\alpha = 10^{-2}$	250	2.0
Водонасыщенный песок с $\alpha = 4 \cdot 10^{-2}$	45	2.5
Неводонасыщенный песок с $\rho = 1.6 - 1.7$ г/см <sup>3</sup>	15	2.8
Неводонасыщенный песок с $\rho = 1.5 - 1.6$ г/см <sup>3</sup>	7.5	3.0
Неводонасыщенный песок с $\rho = 1.4 - 1.5$ г/см <sup>3</sup>	2.5	3.5

### Явления на поверхности Земли, связанные с выходом на неё ударной волны.

Акцентируем внимание на процессах, сопровождающих выход не слишком сильной ударной волны на поверхность (см. рис. 3). Выход наклонной к линии горизонта ударной волны изображен на рис. 3-1. Здесь фронт ударной волны, шириной  $a$ , движущийся со скоростью  $c_0$ , подходит под углом  $\alpha$ , к земной поверхности, вещество которой обладает плотностью  $\rho$ . Распространение ударной волны сопровождается сравнительно медленным движением сплошной среды с массовой скоростью  $u$ . Ударная волна отражается на участке АВ и уходит вниз со скоростью  $c_0$ . При отражении возникает быстро затухающая волна разгрузки (разрежения, растяжения), движение которой сопровождается перемещением вещества со скоростью  $u_0$ . Действие на грунт силы, связанной с перемещением массы с вертикальными (вверх) компонентами этих скоростей приводят к разуплотнению, расширению грунта и подъему его относительно начального уровня на высоту порядка метра. На участке АВ может возникнуть система сил, направленных друг навстречу другу соответственно тому, как направлены горизонтальные компоненты массовых скоростей:  $u - u_0$  (рис. 3-4), либо  $u' - u_0'$  (рис. 3-6).

На рис. 3-2 изображено распределение плотности до (слева) и после выхода нормально падающей ударной волны (справа). Видно, что после выхода ударной волны и отражения её от поверхности, вещество с плотностью  $\rho_1$  (меньшей  $\rho_0$ ) находится выше начального уровня. Аналогичная картина представлена на рис. 3-3, где изображены скорости в нормально

падающей ударной волне со скоростью  $c_0$  и массовые скорости  $u$  и  $u' \approx 2u$  до выхода ударной волны на поверхность (слева) и после её выхода на поверхность. На рисунках 3-5 и 3-7 изображены разломные диаграммы, соответствующие ситуациям, изображенным на рисунках 3-4 и 3-6. Темные секторы диаграмм показывают области сжатия, светлые - растяжения.

По данным сейсмологической сети ИОЦ ГС РАН определен механизм основного толчка Чуйского землетрясения, который практически совпадает с диаграммой, изображенной на рис. 3-5, что может говорить в пользу предлагаемой модели.

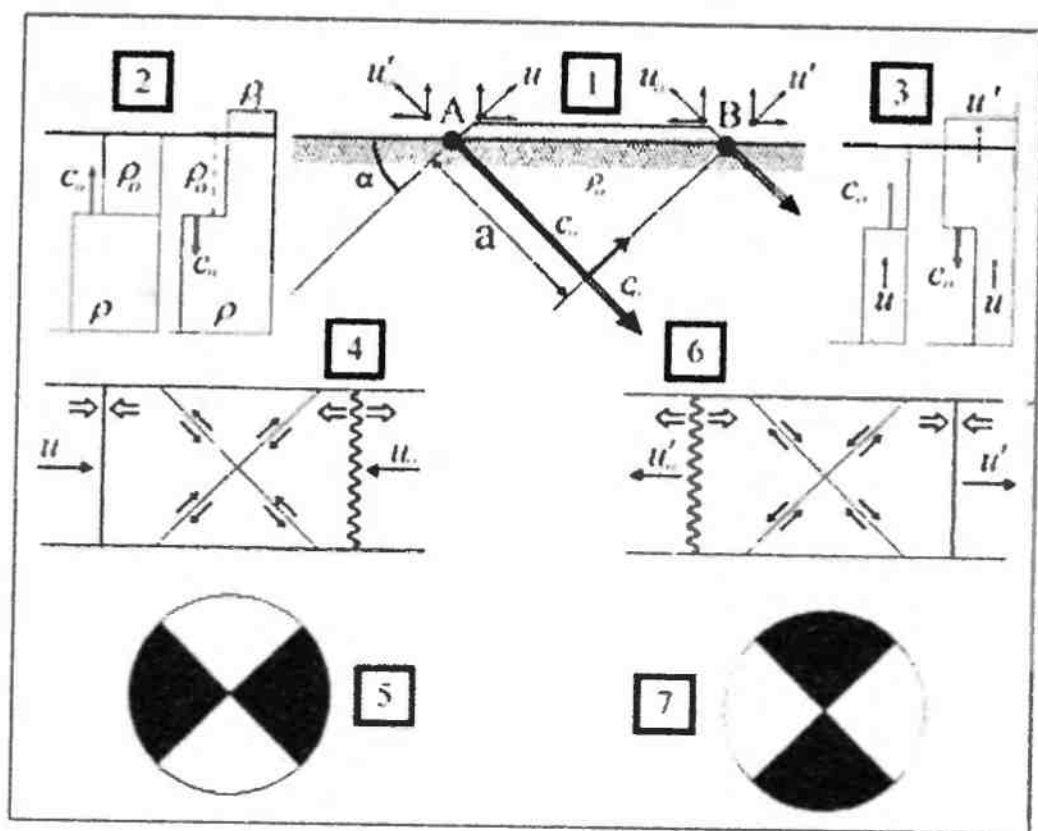


Рис. 3. Выход ударной волны (шириной  $a$ ) на поверхность Земли под углом  $\alpha$  к линии горизонта. Пояснения в тексте.

### Угол выхода ударной волны на поверхность

Гипоцентр Чуйского землетрясения по уточненным данным расположен на глубине 18 км. "Ось зоны активности" афтершоков практически совпадает с разломом Кускуннур. Область первичных разрушений отстоит от этого разлома примерно на 5-7 км. Это может означать, что главный удар землетрясения (сго очаг) выходит на поверхность под углом порядка 65 градусов. Рассмотрим, к каким выводам можно прийти, если известна величина этого угла.

Как следует из ударно-волновой модели, в сейсмически активной, напряженной геологической среде кроме литостатической нагрузки должна быть еще одна (или несколько) других напряжений, которые, взаимодействуя со средой, приводят её в некоторое, названное нами, - когерентное состояние. Если среда находится в таком состоянии, то в ней может развиваться процесс лавинного образования трещин и генерации при этом акустических волн, которые, взаимодействуя с трещинами, помогают им раскрыться в едином процессе. В результате, в среде может возникнуть разрыв характеристик среды (например, плотности) и образоваться ударная волна. Угол выхода ударной волны на поверхность не случаен. Он определяется рядом обстоятельств, связанных с характером нагрузок и реологией среды: Во-первых, это литостатическая нагрузка, величина которой пропорциональна глубине. Она приводит к возникновению трещин, углы раскрытия которых относительно вектора

напряжений, направлены, согласно закона Кулона-Мора (см. рис. 4-а). В среде, напряженной только литостатическим давлением, углы раскрытия трещин сильно различаются по глубине. В такой ситуации когерентной структуры возникнуть не может. К литостатической нагрузке "добавим" напряжение, возникающее в результате приложения силы, действующей в горизонтальном направлении. Если распределение нагрузки окажется таким, что в результате сложения литостатической и боковой, углы раскрытия трещин окажутся одинаковыми и направленными примерно под углом в 45 градусов, то и ударная волна подойдет к поверхности Земли снизу под этим углом к горизонту (рис. 4-б). Этот угол в сейсмологии принято считать углом выхода очага на поверхность Земли. Представим себе, что в формировании "угла когерентности" принимает участие напряжение, действующее под углом к поверхности Земли. Это напряжение может быть, связано, например, с влиянием разломов (рис. 4-с). В этом случае угол выхода ударной волны оказывается больше чем  $45^{\circ}$  и приближается к углу  $90^{\circ}$ . На рис. 4-d изображена ситуация, в которой когерентность среды достигается путем небольшой добавки, обвязанной, например, действием атмосферных возмущений, или влиянию лунных приливов и пр. Эту ситуацию принято считать триггерным эффектом.

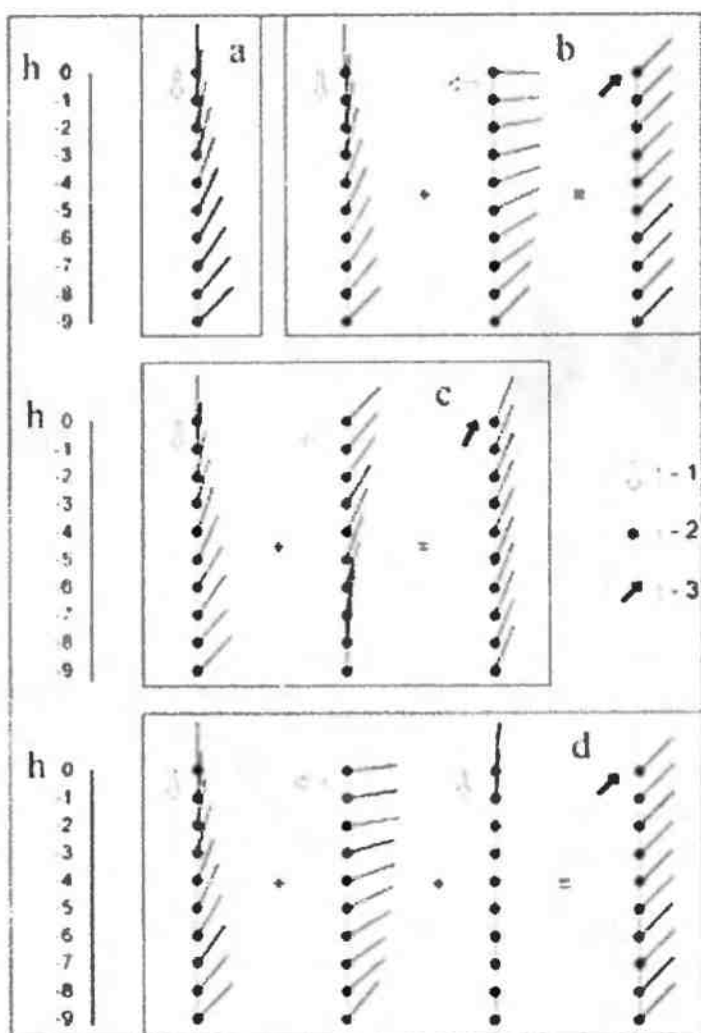


Рис. 4. Изменение угла образования трещин при вариации характера нагрузки на среду: а - вертикальная, литостатическая; б - литостатическая + боковая; с - литостатическая + "под углом"; д - то же, что "б" + дополнительная, внешняя. Дальний порядок и пространственная когерентность возникают в случаях: "б, с" и "д". 1 - направление действия нагрузки; 2 - положение трещины и ее направление; 3 - направление пространственной когерентности.

### **Взаимодействие волн, возникающих при выходе ударной волны на поверхность.**

Рассмотрим волновую картину процессов формирования в недрах Земли УВ, движение ее к дневной поверхности, возникновение ВР и взаимодействие волн. Воспользуемся приемом из практики изучения УВ. Изобразим рассматриваемые процессы на  $x$ - $t$  диаграмме, где  $x$  - координата, а  $t$  - время. Обозначим:  $x_0$ ,  $t_0$  - координату (глубину гипоцентра) и время формирования ударной волны в геологическом теле (см. рис. 5). Предположим, что в земной коре, на глубине между  $x = 0$  и  $x = x_0$ , и, далее, до  $x_1$ , находится геологическое "тело", обладающее определенными уникальными акустическими свойствами: во-первых, это должно быть прочное тело, способное к накоплению упругой энергии и активному образованию трещин; во-вторых, оно должно быть изотропным. В таком теле не должно быть неоднородностей, у которых заметно различаются между собой плотность и скорость звука ( $\rho c$ ). На таких неоднородностях происходит рассеяние (расщепление) УВ и генерация объемных волн. Характер нагрузки (напряжений) тела (в-третьих) должен быть таким, чтобы в нем могла возникнуть пространственно когерентная структура микротрещин или, иначе, - возникнуть (на языке физики когерентных структур) дальний порядок. В-четвертых, в этом теле должны раскрываться трещины, участвующие в процессе, - вполне определенного размера, не более 100 - 200 микрон, которые потом, после события, могли бы "залечиться" так, чтобы тело могло быть готово к очередному событию. (Это условие не исключает присутствие трещин других размеров). При выполнении этих требований в т.н. сейсмоактивной среде такого геологического тела возможно возникновение акустического стимулированного сверхизлучения (режима лавинного образования трещин) и возбуждение сильной акустической, централизованной волны, а затем и ударной волны.

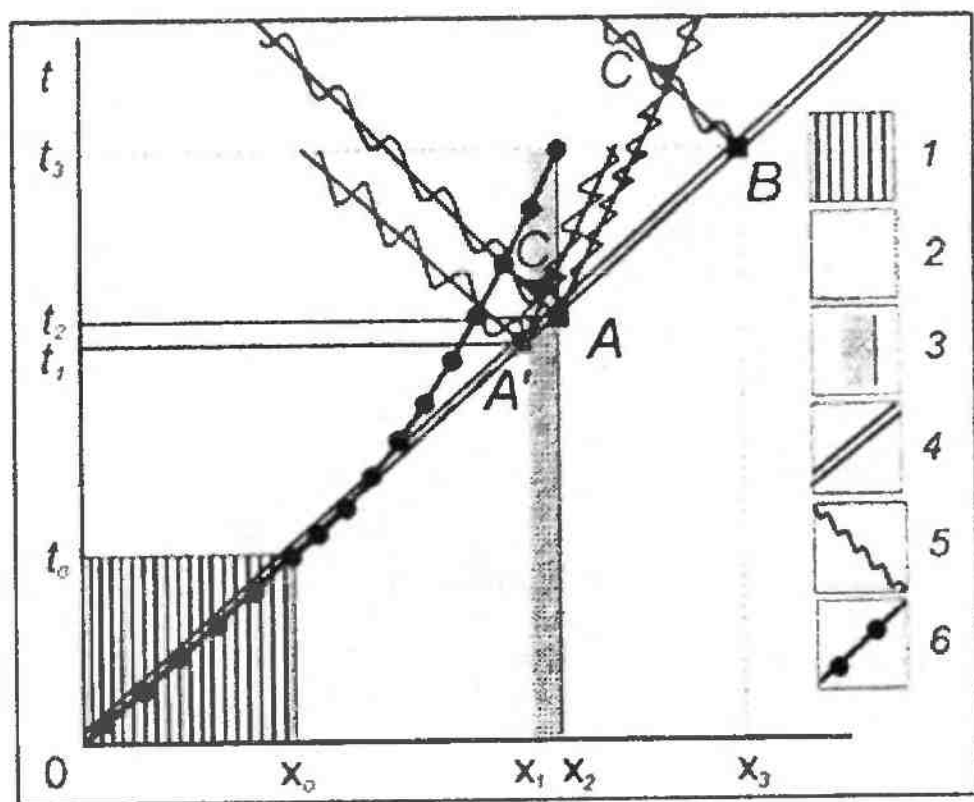


Рис. 5. Волновая картина формирования ударной волны, волны разрежения и их взаимодействия в геологическом теле и на его поверхности. 1 - геологическое тело; 2 - земная кора; 3 - поверхность; 4 - фронт УВ; 5 - фронт волны разрежения (ВР); 6 - кривая распределения скоростей Р-волн по глубине.

В точке  $(x_1, t_1)$  УВ выходит на границу между геологическим телом и рыхлым грунтом, а в точке  $(x_2, t_2)$  - на земную (свободную) поверхность. В каждой из этих точек происходит отражение УВ и возникновение волн разрежения (ВР), "двигающихся" в обратном (по отношению к УВ) направлении. Длительность импульса (удара) УВ конечна (обозначим ее  $\Delta t$ ). За это время УВ охватывает пространство на земной поверхности  $\Delta x = V_x \times \Delta t$  - в точке  $(x_3, t_3)$ , где так же может возникнуть ВР. Таким образом, на поверхности Земли, в области эпицентра землетрясения, в пространстве  $(x_1 - x_3)$ , - возникает ансамбль волн: ударных и разрежения. Эти волны, взаимодействуя между собой и с окружающим пространством, вызывают комплекс сложных волновых и гидродинамических явлений, приводящих, в конечном счете, к разрывам поверхности, разуплотнениям, вспучиваниям и проседаниям грунта, изливаюнию на поверхность жидкой фазы (мокрого песка и глины) в виде грифонов и т.п. На рис. 5 черным кружком (точка С) отмечено место пересечения ВР, в котором могут возникнуть разрывы сплошной среды. Рассмотрим эти явления подробнее.

### **Взаимодействие ударной волны с преградой, приводящее к возникновению отколов и разрушений поверхности**

**Взаимодействие волн.** Рассмотрим механизмы взаимодействия волн, возникающих при выходе ударной волны на "свободную" поверхность твердого тела. Наиболее полно этот вопрос рассмотрен в книге [7], которой будем придерживаться при изложении материала этого раздела.

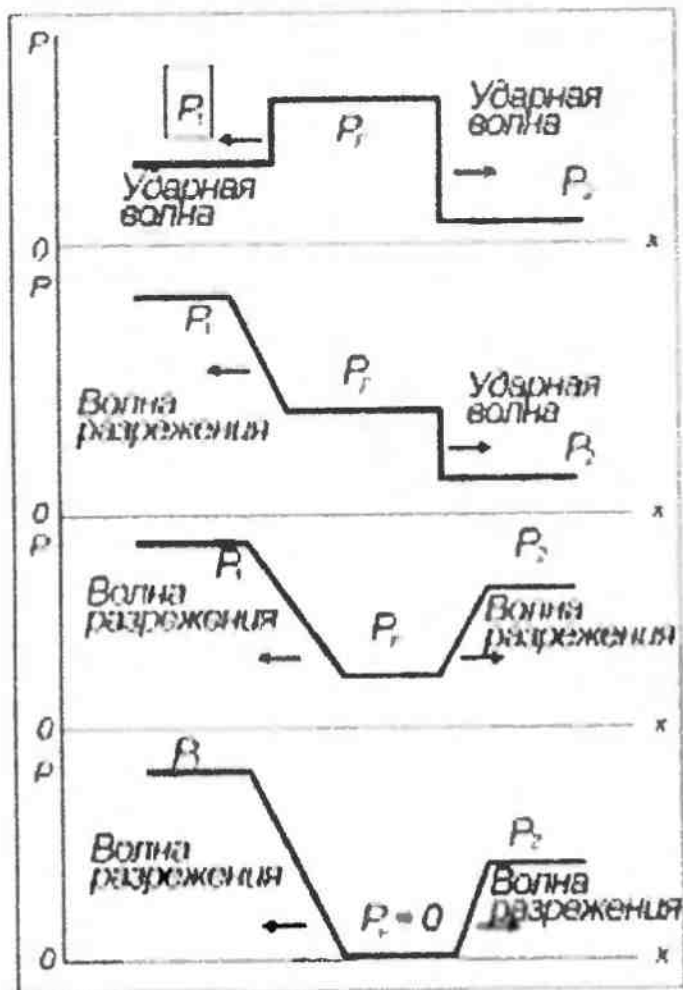


Рис. 6. Возможные типы распада разрыва [7]. Давления  $P_1$  и  $P_2$  - на фронтах УВ и ВР, давление  $P_F$  - в теле, после прохождения по нему этих волн. Стрелки - направления распространения волн.

Как известно, ударная волна, это волна сжатия, на очень узком фронте которой термодинамические характеристики претерпевают разрыв. Эта волна, при прохождении через твердое тело приводит к его уплотнению и, при расщеплении на неоднородностях тела, - к генерации и излучению объемных волн. Ударная волна отличается от обычных акустических (сейсмических) волн ещё и тем, что вслед за фронтом УВ происходит движение (течение) вещества твердого тела, причем массовая скорость этого течения значительно меньше скорости УВ, и, чем интенсивнее ударная волна, тем выше массовая скорость. Совсем другая ситуация возникает, например, при выходе ударной волны на поверхность твердого тела. При этом образуется волна разрежения, двигающаяся в сторону, обратную движению УВ. Образование волн, идущих в обе стороны от "свободной" поверхности принято называть распадом разрыва. Разрыв в начальных условиях распространения УВ действительно исчезает, так как образуются два других разрыва. В книге Забабахина [7] рассмотрены четыре возможных типа распада разрыва, из которых нас будет интересовать лишь четвертый. Все типы распада разрыва изображены на рис. 4 (сверху вниз): 1) Образование двух ударных волн. Такой тип распада встречается при выходе УВ из более "мягкого" вещества в более "жесткое". 2) Образование ударной волны и волны разрежения. Это происходит при выходе УВ из более жесткого вещества в более мягкое. Массовая скорость частиц более жесткого вещества удваивается и в нем начинает распространяться волна разрежения. 3) Образование двух волн разрежения. Они возникают в том случае, когда, строго говоря, разрыва в начальных условиях нет, а волна разрежения приходит на границу двух сред, до этого сжатых и покоящихся. На Земле такая ситуация может возникнуть при выходе ударной волны на поверхность и образовании волны разрежения, которая приходит на границу двух сред, например, грунта, лежащего на гранитном основании, либо рыхлого грунта на границе вечной мерзлоты и т.п. Волна разрежения является фактически волной плавного изменения состояния и не носит характера ударной волны, т.к. фронт такой волны имеет конечную ширину. 4) Образование двух волн разрежения и разрыва сплошного вещества. Такое движение возможно, как и в ситуации 3, но при слабом начальном сжатии. При интенсивной волне разрежения элементы вещества начинают двигаться друг от друга в противоположных направлениях, т.е. происходит откол, - разрушение ранее целого и компактного вещества.

*Смыкание откола.* При соблюдении некоторых условий образовавшийся откол (разрыв сплошности материала) может сомкнуться. Для этого в материале должна возникнуть волна сжатия, т.е. ударная волна, которая может остановить процесс откола. Условия возникновения УВ могут быть связаны как с внутренними причинами, т.е. особенностями распространения волны разгрузки, так и внешними, - заключающимися в особенностях волновой обстановки вокруг материала, претерпевающего откол. Возможно, подобное явление, т.е. раскрытие трещины и, следующее за ним, смыкание её, наблюдал очевидец (пастух) во время Чуйского землетрясения в районе с Чибит. По словам очевидца, скорости раскрытия трещины и последующего её смыкания были сравнительно невелики, а сам процесс хорошо различался во времени. Опытные сейсмологи утверждают, что подобные случаи встречались и раньше, например, на Памире. Для объяснения этих фактов необходимо в рамках модели сильных движений получить оценки времени и скорости образования различных глазом сейсморазрывов, которые должны быть сравнимы со скоростями прихода к сейсморазрывам ударных волн.

*Влияние прочности материала на скорость откола.* Обсуждая проблему откола (разрыва), предполагалось, что для проявления этого явления достаточно того, чтобы плотность вещества после выхода ударной волны на поверхность оказалась ниже исходной. Действительно, это не совсем верно. Для начала откола необходимо, чтобы плотность оказалась меньше заданной, заранее определенной. Это связано с тем, что вещество, через которое распространяется УВ, обладает прочностью  $\sigma_p$ .

*О прочности грунта.* Известно, что теоретическая прочность на разрыв твердого тела  $\sigma_p \approx 0.1 E$ , где  $E$  - модуль Юнга. Учитывая справочные данные, скорости сейсмических волн в грунте и его плотность, можно с уверенностью считать, что величина  $E \approx 1$  кбар. Фактически прочность меньше чем  $\sigma_p$  примерно в 100 - 1000 раз. Для грубых, качественных оценок примем  $\sigma_p = 1 - 10$  бар, или  $10^6 - 10^7$  дин/см<sup>2</sup>, что соответствует давлению вышележащих слоев грунта  $p = \sigma_p = \rho g h$  на глубине  $h$  порядка нескольких метров (обычная для землетрясений глубина разрыва поверхности).

*Скорость сейсморазрыва.* Воспользуемся подходом оценок эффектов, связанных с отколом, развитых в [7]. Будем полагать, что возникновение первичных трещин сейсморазрывов в грунте идентично появлению откола в твердом теле при воздействии на него ударных волн. В этом случае можно написать формулу для величины скорости раздвижения трещины  $U$ :

$$U = 1/\rho_0 \times \partial P/\partial x \Delta t,$$

где  $\partial P/\partial x$  - градиент давления,  $\Delta t$  - время процесса. Очевидно, что  $\partial P/\partial x = \sigma_p/\delta x$  - где  $\sigma_p$  - растягивающее напряжение, при котором происходит откол,  $\delta x$  - толщина слоя откола (ширина трещины сейсморазрыва). Полагая  $\Delta t$  - время выхода ударной волны на поверхность до момента образования откола:  $\Delta t = \delta x/C$ ,  $C$  - скорость звука, получаем выражение для скорости  $U$ :

$$U = \sigma_p / \rho_0 C, \quad (13)$$

что позволяет оценить порядок величины скорости (в нашей интерпретации) раскрытия трещины-разлома  $U$ . Скорость оказывается порядка нескольких метров в секунду. По-видимому, это несколько заниженная оценка, так как, со слов очевидцев, раскрытие трещины происходит, как говорится, "на глазах у свидетеля". По-видимому, человеческий глаз способен различить скорость порядка 100 м/с. Это потребует корректировки (увеличения ~ в 10 раз) величины  $\sigma_p$ , что вполне правдоподобно. Важно, что скорость раскрытия трещины прямо связана с прочностью материала, что так же вполне правдоподобно.

### *Модели сильных движений Чуйского землетрясения*

Рассмотренные нами явления, объединенные в группу, которая носит название сильные движения (макросейсмичность) при землетрясении, можно разделить по природе механизма. В первую очередь, это ударно-волновой механизм. О физике этого механизма в основном и шла речь выше. Однако некоторые сопутствующие эффекты имеют явно гидродинамический характер. Сюда с очевидностью можно отнести образование грифонов, образование валов вспучивания как своеобразных волн, типа волн на воде, правосторонние сдвиги по простиранию образовавшихся трещин, когда правый борт трещины сдвигается к югу, а левый, - к северу и т.п. Ударно-волновой механизм включает такие вопросы как, образование волн разрежения в результате выхода ударной волны на свободную поверхность и последующее взаимодействие этих волн между собой. Так как в большинстве случаев процессы взаимодействия волн происходят в сравнительно тонком слое грунта, лежащем на гранитном основании или на слое вечной мерзлоты, то, рассматривая эту задачу можно иметь в виду, что особенности распространения и взаимодействия волн в пластине подходят под описание т.н. волн Лэмба.

Гидродинамические задачи базируются на двух главных моментах, следующих из теории ударных волн. Во-первых, это учет того, что при распространении ударных волн вещество, через которое распространяется УВ, движется по направлению волны с массовой скоростью, значительно меньшей, чем скорость распространения ударной волны и волны разрежения.



Это движение (течение) вещества направлено вдоль полиниям сжатия-растяжения. Во-вторых, следует учитывать, что сильная ударная волна при распространении через среду приводит её в "квазизидкое" состояние обладающее конечной величиной вязкости.

Кратко рассмотрим модели сильных движений в контексте физики ударно-волновой модели. Как отмечалось выше, среди множества сопутствующих землетрясения процессов авторы [1] выделили четыре вида нарушений:

1) сейсмостектонические разрывы, 2) обвалы и оползни, 3) вспучивание и проседание почвы и 4) излияние воды и грязи на поверхность связанное с образованием грифонов. Практически все виды нарушений нами рассмотрены выше при описании процессов, сопутствующих выходу ударной волны на поверхность среды. Тем не менее, дадим краткое содержание каждого из них.

*Сейсмостектонические разрывы.* Причины разрывов - взаимодействие двух и более волн разрежения, возникающих при выходе ударной волны на поверхность.

*Обвалы и оползни.* Эти явления возникают вследствие "подрезания склона сейсмостектоническими разрывами. Иногда такие явления называются сейсмогравитационными.

*Вспучивание почвы.* Возникает в поверхностном слое при отражении ударной волны от свободной поверхности, в то время как вещество ещё продолжает двигаться как бы вслед за УВ с массовой скоростью, которая в такой ситуации - удваивается.

*Проседания почвы.* Возможны две причины, или их комбинация. 1) Неравномерное вспучивание, там где меньше "вспучилось" - это и есть проседания; 2) Ударная волна, проходя по твердой среде, уплотняет её. При выходе на поверхность, возникает волна разрежения, которая разуплотняет верхний слой среды. В принципе, в силу различных геометрических, реологических и пр. обстоятельств, возможна ситуация, в которой волна разрежения, в некоторой области пространства, - не образовалась. В этом месте вместо вспучивания, будет наблюдаться проседание почвы.

*Правостороннее смещение.* На рис. 2 можно видеть, что направление трещин сейсмостектонических разрывов не совпадают с валами перемещения почвы. Углы расхождения могут достигать  $45^{\circ}$ . Несмотря на то, что оба явления возникают как результат выхода ударной волны на поверхность грунта, в первом случае картина обязана взаимодействию сильных волн: ударной и разрежения. Во втором случае, имеет место гидродинамический перенос, связанный с тем, что касательные напряжения, согласно закона Кулона-Мора, ориентированы под углом к действующей на тело нагрузке.

*Образование грифонов.* Напряжения, возникающие в грунте в процессе воздействия на него ударной волны определяются его реологией: чем суше грунт, тем в большей степени преобладают горизонтальные, касательные к поверхности грунта нагрузки над - вертикальными, нормальными к его поверхности. Соответственно, амплитуды перемещений частиц грунта, скорости и ускорения перемещений при воздействии на них ударной волны так же зависят от степени "сухости" грунта. Поэтому, во влагонасыщенном грунте возникают грифоны, а в сухом грунте - разрывы и образование трещин. Если вместо грунта, на поверхности находится монолитная порода, основное направление силы - вертикальное, в этом случае наблюдаются отколы. В сейсмологической практике известны случаи, когда в момент землетрясения откалывается часть скалы, "подпрыгивает", иногда разворачивается при этом, и остается на месте. Совсем другая физика образования грифона, которая, скорее, сродни физике, объясняющей возникновение "султанов" на воде при подводном взрыве [8]. И в том, и в другом случаях основным механизмом является схлопывание пузыря. Ударная волна выходит на поверхность и возникшее при этом давление выталкивает некоторое количество воды с массовой скоростью  $u$ . На поверхности воды образуется воронка в форме впадины.

### *Энергетика разрушений в эпицентре Алтайского землетрясения.*

Рассмотрим два различных подхода к оценке энергии разрушений в эпицентре землетрясения: один, - с точки зрения теории упругости, другой - гидродинамики. Обратим внимание на то, что в преобладающем большинстве работ по физике землетрясения принято считать потери на разрушения очень малыми, - менее одного процента от полной энергии землетрясения. Выясним, насколько справедливо это утверждение в случае Чуйского землетрясения.

Сейсмическая энергия. В механике землетрясения принято считать [6], что сейсмическая волна, достигая поверхности Земли, вызывает смещение земной поверхности  $x$ :

$$x = a \cos (2\pi t/T_0), \quad (14)$$

тогда скорость движения грунта:

$$V = - (2\pi a/T_0) \sin (2\pi t/T_0). \quad (15)$$

Удельная энергия:

$$e = (\rho/4) (2\pi a/T_0)^2,$$

Кинетическая энергия, излучаемая очагом:

$$E = 3\pi^3 h^2 c t_0 \rho (a_0/T_0)^2. \quad (16)$$

Здесь  $a_0$  и  $T_0$  - амплитуда и период волны,  $h$  - глубина очага,  $c$  - скорость распространения волны,  $t_0 = \pi T_0$  - длина цуга волн.

Оценим величину  $(a_0/T_0)$ , принимая:  $c = 3,6$  км/с,  $h = 18$  км,  $\rho = 2,7$  г/см<sup>3</sup> и  $E = 10^{23}$  эрг. Величина  $(a_0/T_0)$ , иначе, скорость движения грунта,  $V \approx (5 - 10)$  см с<sup>-1</sup>. По-видимому, эту оценку можно принять как некоторое усреднение, т.к. в эпицентре 7.5 бального землетрясения скорость движения грунта значительно (в 10 - 20 и более раз) выше. Тем не менее, эта оценка полезна и в дальнейшем, обсуждая параметры сильных движений в эпицентре Чуйского землетрясения, будем ориентироваться на неё.

Характерно, что в формуле для  $E$  (16) нет расстояния до места прихода излучения от очага. По-видимому, это имеет глубокий смысл. Например, если оценить величину  $\sigma = \rho c V$ , где  $c$  - скорость звука, то оказывается, что напряжение соответствует примерно 1 бар. Как было оценено выше, напряжение в волне в 1 бар было зарегистрировано на сейсмостанции в Новосибирске (4 балла). Однако, главный толчок Чуйского землетрясения в Барнауле вызвал сотрясение всего в 2 балла, хотя Барнаул в два раза ближе к эпицентру, чем Новосибирск.

*Энергетика сильных движений.* Воспользуемся формулой:  $p = \rho D u$ , где примем:  $D = 3,5$  км/с,  $u = 1$  м/с,  $p = 100$  бар. Как отмечалось выше, эти параметры измерены при наблюдении Нортриджского землетрясения в Калифорнии и примерно соответствуют его энергетике ( $M = 6,7$ ). Энергия Чуйского землетрясения ( $M = 7,5$ ) примерно на порядок выше, следовательно, величины  $D$  и  $u$ , соответственно, выше.

Предположим невероятный случай, что вся энергия землетрясения  $E$  пошла, например, на разуплотнение грунта на поверхности  $S = 10^{10}$  км<sup>2</sup> под действием волны разрежения. В этом случае глубина слоя разуплотнения грунта была бы равна  $E/\rho S = 10$  метрам. Эта оценка показывает масштаб явления. Реально наблюдаемые нарушения грунта в эпицентре Чуйского землетрясения были рассмотрены нами выше. Обратимся к рисунку 2 (рис. 11 [1]), на котором изображена структура сейсморазрывов и зон вспучиваний на водоразделе рек Талдура (на некоторых картах - Талтура) - Кускуннур в эпицентральной зоне разрушений Чуйского

землетрясения. Грубая оценка суммарной длины сейсморазрывов, изображенных на этом рисунке, показывает, что это примерно 5 км. Если принять глубину разрывов 5 м, а ширину - 20 м, то объем, который подвергся разрушению, равен  $5 \cdot 10^5 \text{ м}^3$ . На эту "операцию" было затрачено примерно  $5 \cdot 10^{19}$  эрг. Оценим объем грунта, подвергнувшегося вспучиванию. Оказывается, что грубая оценка величины этого объема равна объему трещин. Возможно, это совпадение, но, возможно, -это реализация закона сохранения массы в ударной волне. В любом случае, суммарная энергия, потраченная на получение разрывов и вспучиваний, составляет примерно  $10^{20}$  эрг на один из многих участков земной коры в эпицентре землетрясения. Будем, к примеру, считать, что таких участков 10, тогда получается, что на реализацию этого типа сильных движений и разрушений в эпицентре землетрясения "уходит" примерно 1 % от суммарной энергии. Пока не учитывалась часть энергии, которая "пошла" на работу грифонов, подвижку среды как квазижидкости и образование оползней.

Оценим, для сравнения, порядок кинетической энергии, израсходованной на образование грифона. Воспользуемся формулой Пуазейля для оценки объемного расхода жидкости  $V(\text{см}^3/\text{с})$ , изливающейся через круглое отверстие радиусом  $R$ , длиной "трубы"  $l$ , вязкостью "жидкости"  $\eta$  и под давлением  $\Delta p$ :

$$V = (\pi R^4 / 8\eta l) \Delta p \quad (17)$$

Подставляя  $R = 10^2 \text{ см}$ ,  $\eta = 10^5 - 10^6 \text{ Пз}$ ,  $l = 10^3 \text{ см}$ ,  $\Delta p = 10^8 \text{ дин/см}^2$ , получаем:  $V = 10^8 \text{ см}^3/\text{с}$ . Учитывая, что время "работы" грифона не более 10 с, масса (объем  $\Delta V$ ) выброшенного материала может достигать:  $m = 1000 \text{ т}$ , что согласуется с приведенной выше оценкой. Линейная скорость переноса массы  $m$  порядка  $v = 10^4 \text{ см/с}$ , что позволяет сделать грубую оценку кинетической энергии работающего грифона:  $E = 10^{17}$  эрг. Величину  $E$  можно оценить и по формуле:  $E = \Delta p \Delta V$ . Подставляя:  $\Delta p = 10^8 \text{ бар}$ ,  $\Delta V = 10^9 \text{ см}^3$ , получаем ту же величину  $E$ . Даже если допустить, что во время Чуйского землетрясения "работало" 100 таких грифонов, их суммарная энергия ( $E = 10^{19}$  эрг) оказывается значительно меньше (в сто раз), чем энергия, которая пошла на образование сейсморазрывов.

### *Пути и перспективы дальнейших исследований очага Чуйского землетрясения.*

В то время, когда готовилась эта статья (декабрь 2003) в Калифорнии произошло землетрясение, погибли люди, разрушены дома. И это в том районе, где сосредоточена самая совершенная аппаратура, где ведется постоянный мониторинг всех возможных геофизических параметров, огромное количество геофизиков получают немалые деньги на прогноз землетрясения. А его нет, да и не может быть. Ещё в 1988 г. после Спитакского землетрясения, когда у меня впервые возник интерес к физике этого загадочного явления и пришла идея о возможности представить очаг землетрясения как источник генерации ударной волны, а механизм её возникновения, - как сверхизлучение звука когерентно раскрывающимися трещинами [9], в голову пришла мысль, которую я впервые опубликовал в 1990 в препринте, а затем повторял практически во всех своих статьях и книгах, касающихся физики этого явления: "Землетрясение, уже начавшись, само не знает, каким получится". Этой фразой можно определить отношение к прогнозу землетрясения. Получается так, что точный прогноз места, времени и силы землетрясения не возможен принципиально.

Какая же альтернатива? И есть ли она? Очень многие серьезные ученые и инженеры полагают, что в настоящее время у человечества существуют всего два пути: один, это хорошо строить и быть готовым к тому, что такое событие может произойти в любое время, и второй, - заниматься физикой явления. Причем оба пути должны развиваться одновременно, быть тесно связаны, а не противопоставляться друг другу.

Чуйское землетрясение представляет огромные возможности для реализации второго пути - изучения физики этого явления. Кое-что уже сделано, однако, это очень малая толика из

того, что следовало бы сделать в будущем. Группой сотрудников Алтае-Саянской Опытной-Методической Сейсмологической Экспедиции (АСОМСЭ) Геофизической службы СО РАН определены глубины гипоцентров, координаты афтершоков, механизмы землетрясений и пр. Объединенной группой сотрудников ИФЗ (проф. Е.А.Рогожин) и Горно-Алтайского Государственного Университета (С.Г.Платонова) проведено предварительное изучение морфологии эпицентра этого землетрясения. Группой сотрудников Горного института УрО РАН (г. Пермь) (Р.А.Дягилев) проведены наблюдения микросейсмичности на сейсмостанции Акташ в период афтершоковой активности в начале ноября 2003 г. Там же, и в эти же сроки, сотрудником АСОМСЭ (С.Ю.Хомутов) проведены наблюдения за вариациями геомагнитного поля, инфразвуком и изменениями атмосферного электрического поля. (В этих наблюдениях принимал участие и автор). В настоящее время результаты наблюдений обрабатываются, можно надеяться, что полученные данные позволят хоть не намного приблизиться к пониманию физики землетрясения, а так же подтвердить, или опровергнуть ударно-волновую модель, суть которой частично изложена в этой статье.

Что следовало бы сделать в будущем? Отвечу на этот вопрос очень кратко, без особых обоснований:

1) Продолжить наблюдения за микросейсмичностью, инфразвуком, атмосферным электрическим полем. Наблюдения за вариациями геомагнитного поля могут быть продолжены, но они, по всей видимости, бесперспективны, т.к. магнитометр на эффекте Оверхаузера, обладающий нулевой чувствительностью к колебаниям почвы, не зафиксировал ни одного сигнала, связанного с точками. Наблюдения велись в эпицентре землетрясения - на сейсмостанции Акташ.

2) Наладить GPS-измерения за подвижностью грунта по обеим сторонам разлома Кускуннур.

3) На ближайших к эпицентру землетрясения сейсмостанциях организовать регистрацию низкочастотного электромагнитного излучения. Аналогичные наблюдения вести в геофизической обсерватории Новосибирска. Это даст возможность отделить сигналы из зоны очага от излучения от внешних источников.

4) Провести электромагнитное зондирование в районе разлома Кускуннур вдоль и поперек него. Это может быть как МТЗ (при выборе диапазона пульсаций, обеспечивающих проникновение зондирующего сигнала до глубин 20 км) или с помощью внешнего источника тока.

5) Провести зондирование очага с помощью сейсмодвижителя по трассам вдоль и поперек разлома Кускуннур. При выполнении п.п. 4 и 5 следует искать аномалии, связанные с очагом землетрясения.

6) Изучить афтершоки, выяснить объем очага, определить, анализируя закон Омори, являются ли источниками афтершоков главный удар или в этом принимают участие и два других сильных землетрясения.

7) Выяснить, действительно ли очаг Чуйского землетрясения, это долгоживущее образование, в котором немалую роль играет разлом Кускуннур. Для этого необходимо провести сравнение современных разрывов с палеонарушениями.

8) Оценить глубину слоя вечной мерзлоты и выяснить его роль в особенностях сильных движений.

*Благодарности.* Благодарю сотрудников Геофизической службы СО РАН (АСОМСЭ) С.Ю.Хомутова - за предоставление возможности изучения последствий землетрясения и афтершоковой активности в близи его эпицентра и А.Г.Филину - за многочисленные консультации и обсуждения представленного в этой работе фактического материала. Благодарю сотрудника Горно-Алтайского Университета А.Ю.Гвоздарева, участника экспедиции, за информацию об особенностях сильных движений Чуйского землетрясения.

Хочу особо отметить авторов статьи [1], опубликованной в Вестнике, в которой наиболее полно освещены явления сильных движений, имевших место при Чуйском землетрясении 27 сентября 2003 г.

### Литература

1. Геодаков А.Р., Овсяченко А.Н., Платонова С.Г., Рогожин Е.А. Материалы предварительного изучения сильного землетрясения 2003 г. на Горном Алтае. Электронный научно-информационный журнал "Вестник отделения наук о Земле РАН" № 1 (21) 2003.
2. Ляхов Г.М., Покровский Г.И. Взрывные волны в грунтах. М.: ГНТИ. 1962 г. 103 с.
3. Станюкович К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды. М.: Наука. 1971. 854 с.
4. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука. 1966.
5. Николаевский В.Н. Динамическая прочность и скорость разрушения. Сб. Механика. Удар, взрыв и разрушение. 26. М.: Мир. 1981. С. 166-203.
6. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир. 1985. 264 с.
7. Забабахин Е.И. Некоторые вопросы газодинамики взрыва. Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ. 1997.
8. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука. 1973
9. Кузнецов В.В. Физика земных катастрофических явлений. Новосибирск. Наука. 1992; Ударно-волновая модель очага землетрясения. Науки о Земле. М.: Вузовская книга. 2001. С.47-62; Ударно-волновая модель землетрясения. Вулканология и Сейсмология, принято в печать 2004. Физика горячей Земли. [www.uiggm.nsc.ru/~kuz/site.htm](http://www.uiggm.nsc.ru/~kuz/site.htm)

**РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА,  
ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ИНФРАЗВУКА В ПЕРИОД АФТЕРШОКОВОЙ  
АКТИВНОСТИ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (АЛТАЙ, 27.09.2003)**

*Кузнецов В.В.<sup>1</sup>, Хомутов С.Ю.<sup>2</sup>*

- (1) - ИКИР ДВО РАН, п.Паратунка, Камчатская обл., vvk@ikir.kamchatka.ru  
 (2) - Алтае-Саянский филиал ГС СО РАН, г.Новосибирск, khomutov@gs.nsc.ru

В статье сообщается о результатах измерений вертикальной компоненты атмосферного электрического поля, полного модуля геомагнитного поля и инфразвука в период афтершоковой активности Чуйского землетрясения ( $M = 7.5$ ), произошедшего на юге Горного Алтая на территории Кош-Агачского района 27 сентября 2003 г. в 11 час. 33 мин. по Гринвичу. Наблюдения проводились в период с 5 по 9 ноября 2003 г. на сейсмостанции "Акташ" АСФ ГС СО РАН, расположенной практически в эпицентральной зоне этого землетрясения. За пять дней наблюдений штатной сейсмической аппаратурой было зарегистрировано 15 толчков с энергетически классом  $K = 7.4 - 9.9$  и с гипоцентрными расстояниями от 11 до 49 км от сейсмостанции. Параметры этих событий представлены в таблице (характеристики землетрясений получены при оперативной обработке непосредственно на сейсмостанции).

*Характеристики афтершоков, зарегистрированных на сейсмостанции "Акташ" с 5 по 9 ноября 2003 г.*

№ п/п	Дата	Время, УТ	Расстояние S, км	класс K	dt, с	δt, с
<b>1</b>	<b>05.11.03</b>	<b>15:17:58</b>	<b>40</b>	<b>8.8</b>	<b>5.5</b>	<b>1.2</b>
2	05.11.03	18:29:13	18	8.4	2.4	0
<b>3</b>	<b>05.11.03</b>	<b>18:35:48</b>	<b>49</b>	<b>9.9</b>	<b>7.0</b>	<b>0</b>
4	07.11.03	00:30:51	11	7.4	1.7	0.8
5	07.11.03	04:37:13	20	8.3	2.5	1.1
6	07.11.03	06:27:30	23	8.6	3.0	1.5
7	08.11.03	05:15:00	18	8.6	2.3	0.7
8	08.11.03	06:26:48	11	7.9	1.5	1.5
9	08.11.03	06:29:35	11	7.4	1.5	1.0
<b>10</b>	<b>08.11.03</b>	<b>08:52:09</b>	<b>12</b>	<b>8.6</b>	<b>1.5</b>	<b>0.6</b>
11	08.11.03	08:53:28	32	8.9	-	-
12	08.11.03	09:28:03	16	7.5	2.0	1.3
<b>13</b>	<b>08.11.03</b>	<b>11:36:52</b>	<b>36</b>	<b>9.4</b>	<b>4.5</b>	<b>1.1</b>
14	08.11.03	12:36:40	21	8.4	2.5	0.5
15	09.11.03	03:04:26	11	7.8	1.5	1.8

Примечания:

- расстояние вычислено по разности ( t ) вступления P- и S-волн на сейсмостанции "Акташ" ( $S = 8.2$  t);
- dt - разность вступления слабой (P) и сильной (S) волн на записи акустического сигнала от землетрясения;
- t - разность между первым вступлением акустического сигнала и временем первого вступления P-волны землетрясения (колонка 3 в таблице)
- №№ 1, 3, 10 и 13 события включены в оперативный Каталог землетрясений АСФ ГС СО РАН.

Целью данных непродолжительных экспериментов, проводимых в активной сейсмической зоне, было тестирование аппаратуры и получение предварительной информации

возмущениях в геофизических полях при землетрясениях. Кроме того, по результатам измерений предполагалось сделать некоторые оценки в отношении проектируемого на Алтае комплексного геофизического полигона (место, состав измерительных средств, условия эксплуатации и т.п.).

#### Аппаратура

Для акустических измерений в инфразвуковом диапазоне (диапазон частот примерно от 2 до 15 Гц) использовался комплект аппаратуры, включающий два пьезокерамических датчика ПДС-7 и электрретный микрофон МКЭ-3 с дифференциальными усилителями собственной разработки. Ожидалось, что использование акустических датчиков различного типа позволит повысить надежность выводов о достоверности зарегистрированных сигналов. Специальная калибровка аппаратуры не выполнялась; чувствительность акустических каналов в инфразвуковом диапазоне оценивается примерно на уровне единиц мПа. Вариации вертикальной составляющей атмосферного электрического поля измерялись с помощью датчика струнного типа с порогом чувствительности порядка 1 В/м, предназначенного для проведения регулярных обсерваторских наблюдений больших изменений электрического поля.

Регистрация выполнялась на персональном компьютере с помощью 16-разрядного АЦП, плата которого устанавливается непосредственно в ISA-слот PC. Периодичность измерений составляла 21 мс. Опрос датчиков выполнялся поочередно в каждом измерении с задержкой между каналами 3 мс. Регистрация велась сериями, продолжительность каждой серии 58 мин. Основная аппаратная проблема заключалась в обеспечении надежной синхронизации по времени, поскольку в составе комплекса отсутствовал соответствующий блок (GPS-приемник или высокоточный генератор) и для временных отметок использовался системный таймер компьютера (специальный драйвер позволял снимать его показания с точностью не хуже 0.1 мс). Поэтому перед каждым циклом (обычно 4-9 серий по 58 мин.) системное время устанавливалось вручную (погрешность не более 0.5 с) и контролировалось в конце серии. Уход таймера PC составляет около 0.59 с/час; при обработке учитывалась соответствующая временная поправка. Суммарная погрешность временной синхронизации оценивается в 1 с.

Измерительный комплекс разрабатывался и использовался нами при проведении исследований особенностей генерации сейсмических и акустических волн в ближней зоне работающего мощного сейсмодвижителя и вызываемых при его работе возмущений в геомагнитном поле и в атмосферном электрическом поле Земли [Кузнецов и др., 1999].

Измерения модуля геомагнитного поля выполнялись с помощью абсолютного протонного магнитометра POS-1, основанного на эффекте Оверхаузера (разработка УПИ-УГТУ, г.Екатеринбург). Магнитометр имеет абсолютную точность не хуже 0.3 нТл и чувствительность около 0.05 нТл при цикле измерений 3 с. Управление режимами работы и регистрация результатов измерений осуществляется с помощью персонального компьютера (используется последовательный порт RS232). Для инициализации измерений в POS-1 используется внутренний высокоточный генератор, однако, для установки внутреннего времени при запуске программы регистрации используется системный таймер компьютера, который устанавливался вручную. Точность временной синхронизации измерений оценивается в 1 с. Аналогичный магнитометр в этот период работал в режиме непрерывного мониторинга на Геофизической обсерватории "Ключи" АСФ ГС СО РАН (г.Новосибирск, расстояние от сейсмостанции "Акташ" более 600 км).

#### Условия измерений

Аппаратура была развернута на территории сейсмостанции "Акташ" 5 ноября 2003 г. Схема расположения представлена на рис. 1 (далее по тексту будем использовать обозначения: датчики ПДС-7 - "А" и "Р", микрофон МКЭ-3 - "Г", электрометр - "Е"). Усилители, блоки питания, компьютеры были установлены непосредственно в здании сейсмостанции. Инфразвуковые датчики и электрометр из-за небольшой длины сигнальных кабелей

располагались в палисаднике (2), рядом со зданием. Микрофон "Г" был закреплен на стене здания, датчики "А", "Р" - закреплены на ограде, огораживающей палисадник (у земли). Электрометр "Е" был установлен на чурбане высотой около 0.5 м. 8 ноября датчик "А" был перенесен примерно на 30 м к юго-западу.

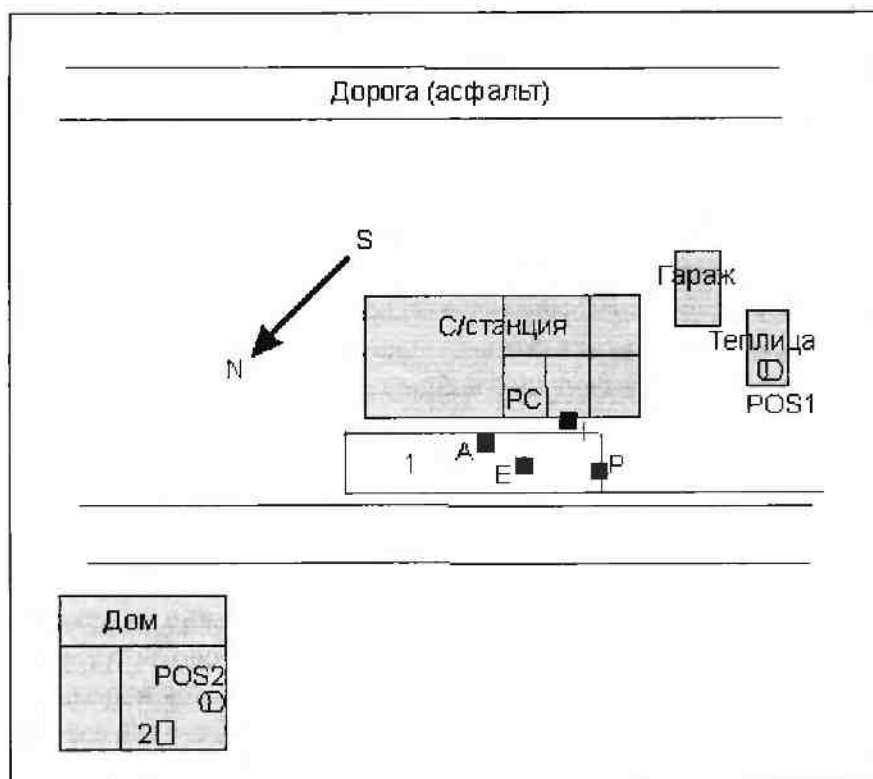


Рис.1. Схема расположения измерительных датчиков на сейсмостанции "Акташ". "POS1", "POS2" - места установки магнитометра POS-1, "А", "Р", "Г", "Е" - два датчика ПДС-7, микрофон МКЭ-3 и электрометр, "РС" - усилители, блоки питания, компьютеры, "1" - палисадник, "2" - печь ("буржуйка").

Магнитометр до 7 ноября был установлен на деревянном чурбане высотой около 0.5 м в теплице (примерно в 10 м от здания, точка "POS1" на схеме), а затем был перенесен в старый деревянный дом к северу от здания сейсмостанции (примерно в 50-ти метрах от старого места, точка "POS2").

Можно отметить следующие особенности условий расположения аппаратуры, которые могли быть существенными для измерений и интерпретации результатов:

1) к юго-востоку от сейсмостанции, на расстоянии примерно 50 м проходит асфальтовая дорога с интенсивностью движения днем 1-2 автомобиля в час. Движение автомобилей уверенно регистрировалось магнитометром. Влияние на акустические измерения заметно не проявилось;

2) непосредственно перед сейсмостанцией проходит проселочная дорога, движение по которой эпизодическое, но эффект в магнитном поле значительный (амплитуда импульсной вариации достигает 5-10 нТл);

3) на расстоянии примерно 200-300 м к северо-западу находится ЛЭП. Ожидалось, что ее влияние на магнитные измерения будет существенным, однако уровень помех (шум) в данных POS-1 оказался незначительным (ниже шума на обсерватории "Ключи" в Новосибирске);

4) источником шума для инфразвуковых измерений являются лес, окружающий сейсмостанцию (расстояние около 20 м на северо-западе и более 50 м на юго-востоке) и река на северо-западе (сильное течение). Следствием близости акустических датчиков к зданию было большое количество помех из-за открытия (закрытия) дверей, перемещения людей и служебного автомобиля (работа двигателя, его движение, хлопанье дверей), в основном в



дневное время;

5) значительным источником магнитных помех был служебный автомобиль УАЗ-469, который стоял во дворе сейсмостанции. Перемещения автомобиля были прекрасно видны на записях магнитометра POS-1;

6) общее расположение станции (в ущелье), вероятно, могло способствовать появлению многократного эхо в акустическом сигнале.

Температура в период работы на станции колебалась от -8 С (днем) до -22 С (ночью).

Результаты инфразвуковых измерений

(1) Четырнадцать землетрясений из пятнадцати, зарегистрированных на сейсмостанции штатной аппаратурой (см. таблицу), были также уверенно зафиксированы в записях всех трех акустических датчиков (одно событие из 15 попало на временной интервал между сериями). На рис. 2 в качестве примера представлены результаты акустической записи для землетрясения 7 ноября в 00:30UT (№4 в таблице). Отметим практически полное отсутствие техногенных помех, поскольку измерения выполнены рано утром в выходной день. Сигнал большой амплитуды, видимый на записи (рис. 2а) примерно через 2 мин. после землетрясения, связан с активностью дежурного сейсмолога на станции при оперативной обработке события. Кривые на рис. 2б похожи, основные особенности сигнала проявляются одинаково и синхронно по времени. Небольшое различие связано, вероятно, с расположением датчиков и несколько различающимися их амплитудно-частотными характеристиками. Отметим также некоторые особенности, характерные для всех акустических записей (подробнее будут рассмотрены ниже):

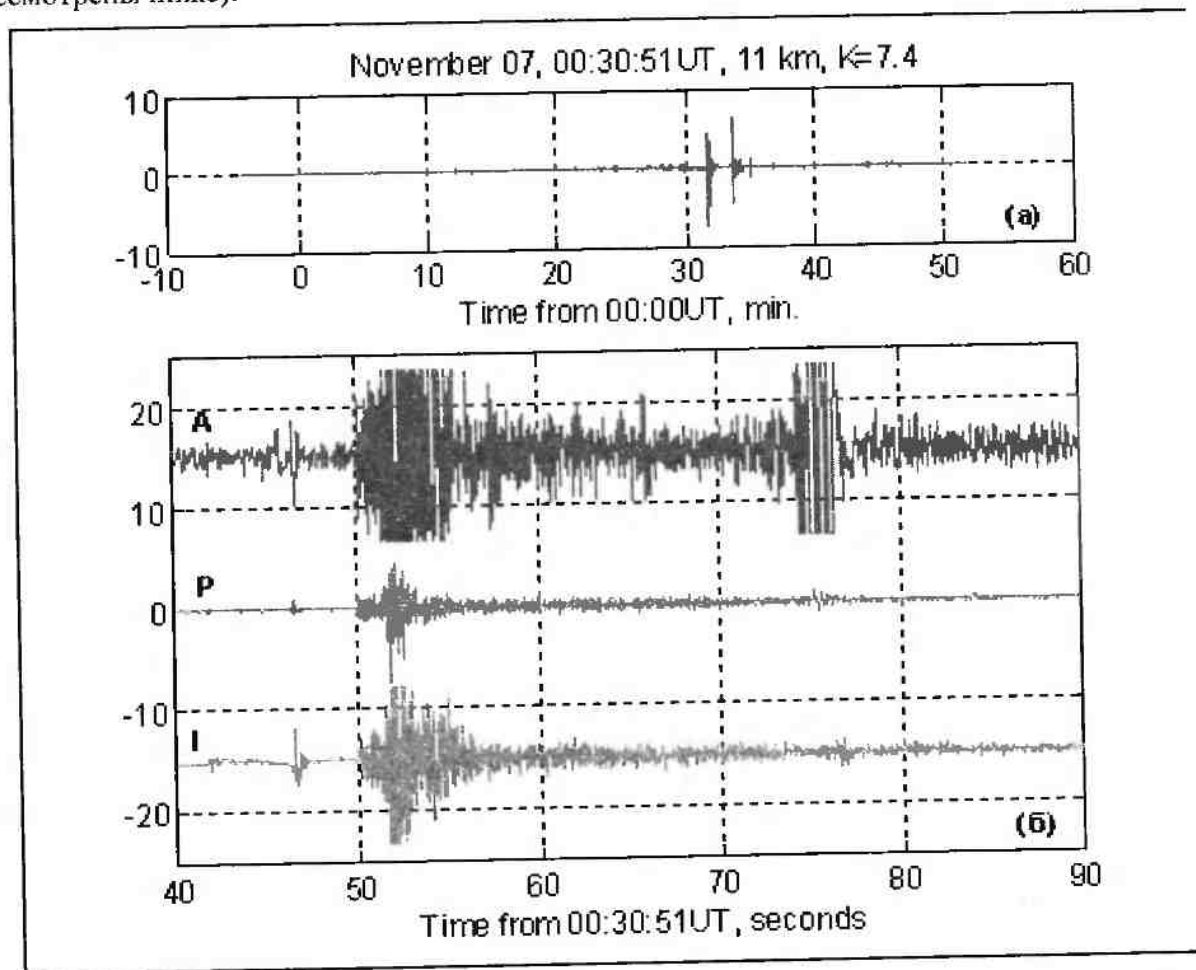


Рис. 2. Пример записи инфразвукового сигнала во время землетрясения 7 ноября в 00:30:51UT (расстояние 11 км,  $K=7.4$ ). (а) - вид полной записи 58-минутной серии для датчика "Р", (б) - фрагмент записи для трех акустических датчиков (кривые "А" и "I" для наглядности смещены по ординате). По оси ординат - амплитуда сигналов в вольтах.

(1) структура акустического сигнала идентична структуре сейсмического сигнала. Сначала регистрируется сигнал с небольшой амплитудой (аналог сейсмической Р-волны), затем, через несколько секунд, - более мощный сигнал (аналог S-волны);

(2) время начала акустического сигнала незначительно (около 1 с) опережает время землетрясения (приход Р-волны, зарегистрированный на сейсмостанции "Акташ");

(3) продолжительность акустического сигнала составляет около 20-30 с.;

во многих случаях перед сигналом (за несколько секунд), связанным с землетрясением, виден короткий сигнал инфразвука

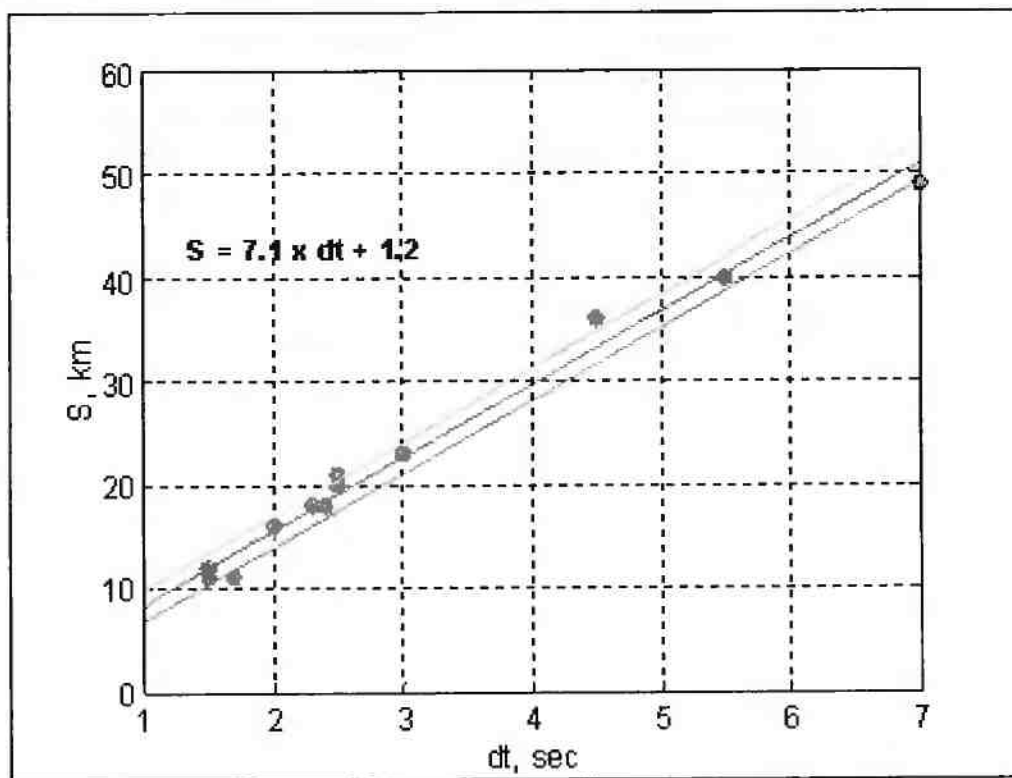


Рис.3. Зависимость расстояния до землетрясения  $S$  от разности вступления слабого и сильного акустического сигнала  $dt$ . Маркерами показаны экспериментальные данные, сплошная линия - линейная аппроксимация  $S(dt)$ . Верхней и нижней линиями показан доверительный интервал.

1. Анализ временной задержки  $dt$  между началом более слабого (первого) акустического сигнала и началом более сильного (второго) сигнала показал, что она пропорциональна гипоцентральному расстоянию  $S$ , определенному на сейсмостанции по разности вступления Р- и S-волн (см. таблицу). Зависимость  $S(dt)$  представлена на рис.3, где также показана ее линейная аппроксимация  $S(\text{км}) = 7.1dt(\text{с}) + 1.2$ .

К сожалению, данных для надежного определения величины наклона прямой  $S(dt)$  недостаточно (преимущественно были зарегистрированы близкие толчки). Так, возможная погрешность в определении величины  $dt$  для землетрясения №3 ( $S=49$  км) в 1 с может изменить значение  $dS/dt$  до 8 км/с.

2. В последнем столбце таблицы приведены разности  $t$  между началом акустического сигнала и приходом сейсмического сигнала (по данным оперативной обработки сейсмостанции "Акташ"). Среднее значение  $t$  составляет 0.9 с, стандартное отклонение 0.5. С учетом ранее сделанной априори оценки погрешности синхронизации системного таймера 1 с получаем ошибку для среднего  $t$  около 0.3 с, что позволяет говорить о неслучайном характере наблюдаемой временной рассогласованности акустического и сейсмического сигнала. Однако не исключена возможность и того, что существует неучтенная

систематическая погрешность синхронизации. В принципе, используя внешний локальный источник, генерирующий как сейсмический, так и акустический сигналы, можно выполнить более точную привязку нашего комплекса к шкале времени. Такая попытка была выполнена по данным сейсмической аппаратуры Горного института УрО РАН (Пермь), также установленной в это время на станции "Акташ". В акустике и в сейсмических записях было выделено несколько сигналов, которые были достаточно надежно сопоставлены между собой по времени. Это позволило сделать вывод о большой вероятности существования систематической погрешности таймера порядка 1 с.

3. В половине случаев (№№ 1,4,5,7,10,11,12 по таблице) перед акустическим сигналом, отождествляемым с землетрясением, наблюдаются слабые короткие сигналы. Разброс интервалов времени между этими импульсами и основным событием - достаточно большой и составляет от 2 до 10 с. Корреляции с какими-либо другими характеристиками землетрясений не обнаружено. Данное обстоятельство и невысокая вероятность появления этих аномалий позволяют предположить, что они являются случайными помехами. К сожалению, практически все землетрясения происходили в такое время суток, когда техногенное влияние на датчики, расположенные вблизи здания сейсмостанции, было высоким и, соответственно, была большая вероятность проявления помех. Исключение составляет землетрясение утром 7 ноября (00:30UT) с импульсом, предшествующим основному сигналу примерно на 3.5 с.

4. Большой интерес представляет динамический спектр зарегистрированных акустических сигналов, генерируемых при землетрясении. На рис.4 показаны сглаженные амплитудные спектры, вычисленные по 25-минутным фрагментам инфразвуковой записи, сделанной 7 ноября в шесть часов утра по местному времени. Выбранные фрагменты практически не содержат помех, поэтому кривые показанных спектров представляют собой АЧХ акустических каналов, дополненные спектром фонового шума на сейсмостанции. В логарифмическом масштабе в диапазоне от 3 до 20 Гц спектры практически линейны.

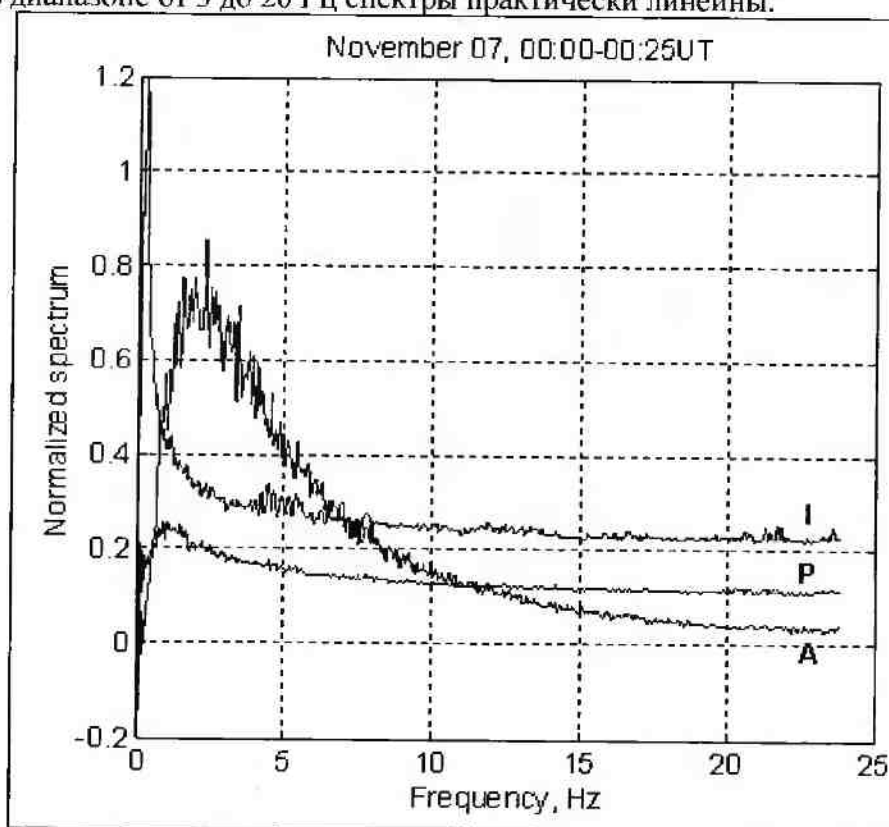


Рис.4. Сглаженные амплитудные спектры, полученные по 25-минутной записи инфразвука в 6 час. утра 7 ноября, содержащей только фоновый шум. Для наглядности спектр "А" смещен по вертикали на 0.1, спектр "I" - на 0.2.

Полученные спектральные характеристики использовались для того, чтобы выровнять спектры акустических сигналов, зарегистрированных во время землетрясений. На рис.5 (датчики "А", "Р" и "Г", соответственно) представлен пример такого динамического спектра для события 03:04UT 9 ноября, вычисленного по фрагментам записи в скользящем окне шириной 1.3 с. Время отсчитывается от момента землетрясения в секундах. Спектры на рис.5 являются типичными для всех событий, когда инфразвук был достаточно сильным. Отметим следующие особенности (некоторые из них более отчетливо проявляются для других толчков):

- амплитуда спектральных составляющих на высоких частотах в целом больше, чем на низких (подчеркнем, что спектры были выровнены с учетом АЧХ акустических каналов; без этого, конечно, низкочастотные компоненты преобладают по амплитуде);
- высокочастотные составляющие акустического сигнала проявляются в спектре более длительное время. Вероятная причина этого - их большая амплитуда в целом;
- в спектрах просматривается полосовая структура с широкополосной помехой на частотах примерно 6, 12-13 и 17-18 Гц. Эти помехи присутствуют и в фоновом сигнале, однако, достаточно заметно проявляются во время землетрясений, при больших амплитудах сигнала.

Из-за больших техногенных помех не представляется возможным выделить надежно аномалии в инфразвуке, предшествующие землетрясению, или акустические сигналы, которые могли быть сгенерированы процессами, происходящими в эпицентральной области, и распространяющиеся от источника до приемника по атмосферному каналу. Такая задача может быть поставлена, если использовать специальные методы обработки и при наличии некоторой модели генерации инфразвука очагом землетрясения, которая бы ограничивала временные рамки для поиска аномальных акустических сигналов в записи.

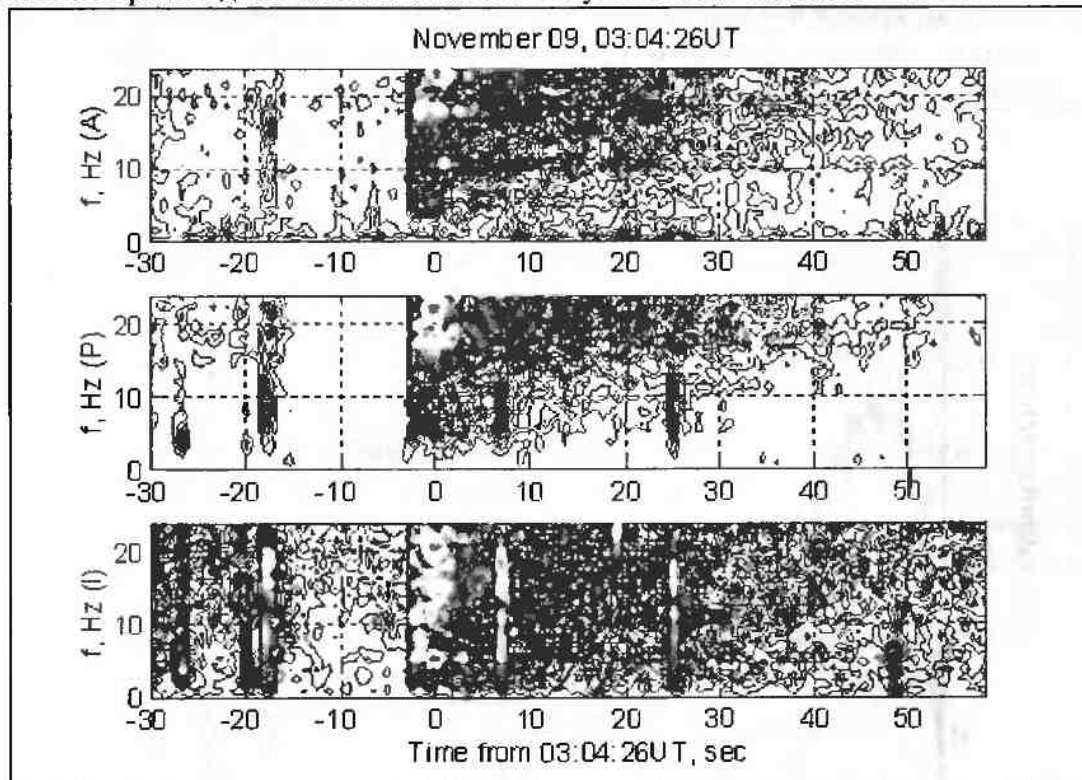


Рис.5. Динамические спектры акустического сигнала во время землетрясения 9 ноября 03:04:26UT (сверху вниз - датчики "А", "Р" и "Г"). Время представлено в секундах, "0" соответствует моменту вступления сейсмической Р-волны по данным штатного сейсмометра. По оси ординат - частота (в Гц). Каждая временная оценка амплитудного спектра сделана по фрагменту акустической записи в скользящем временном окне шириной 1.3 с (использовалась стандартная процедура из пакета MatLab). Нелинейность АЧХ и фонового шума (при отсутствии помех) учтена нормировкой.

Во время наблюдений на сейсмостанции "Акташ" в рассматриваемый период в некоторых случаях основному удару предшествовал слышимый многими наблюдателями подземный гул, который, вероятно, имеет ту же причину, что и регистрируемый нами инфразвуковой сигнал. Ранее, в период, более близкий к Чуйскому землетрясению, когда сейсмическая активность была значительно выше, подземные гулы наблюдались операторами значительно чаще. Отмечались, со слов очевидцев, и такие случаи, когда после хорошо различимого гула, - удара не следовало. Длительность гула перед ударом составляла примерно 1-3 секунды, что согласуется с данными [Шебалин, 2003].

Результаты измерений атмосферного электрического поля

Измерения атмосферного электрического поля представляют собой достаточно сложную задачу даже для обсерваторских условий. При наших измерениях на сейсмостанции "Акташ" в ноябре условия были далеки от нормальных. Из-за ограниченной длины кабеля датчик "Е" был установлен очень близко к зданию станции. Кроме того, недалеко от датчика находились высокие деревья, что также могло оказывать влияние на измерения (для нормальной работы электрометр рекомендуется устанавливать на открытой ровной местности). Низкая температура воздуха (в особенности ночью) и большой ее суточный перепад приводили к периодическим отказам датчика - за весь период измерений достоверная запись вариации электрического поля получена только для двух землетрясений 5 ноября (№2 и №3 из списка в таблице).

На рис.6 представлен 25-минутный фрагмент записи акустического датчика "Р" и электрометра "Е", на котором землетрясения обозначены как "N2" и "N3". Кривая Е получена из исходных данных фильтрацией низкочастотных составляющих (частоты ниже 5 Гц). Как видно на рис.6, оба землетрясения достаточно уверенно проявляются как в записи электрического поля, так и в инфразвуке.

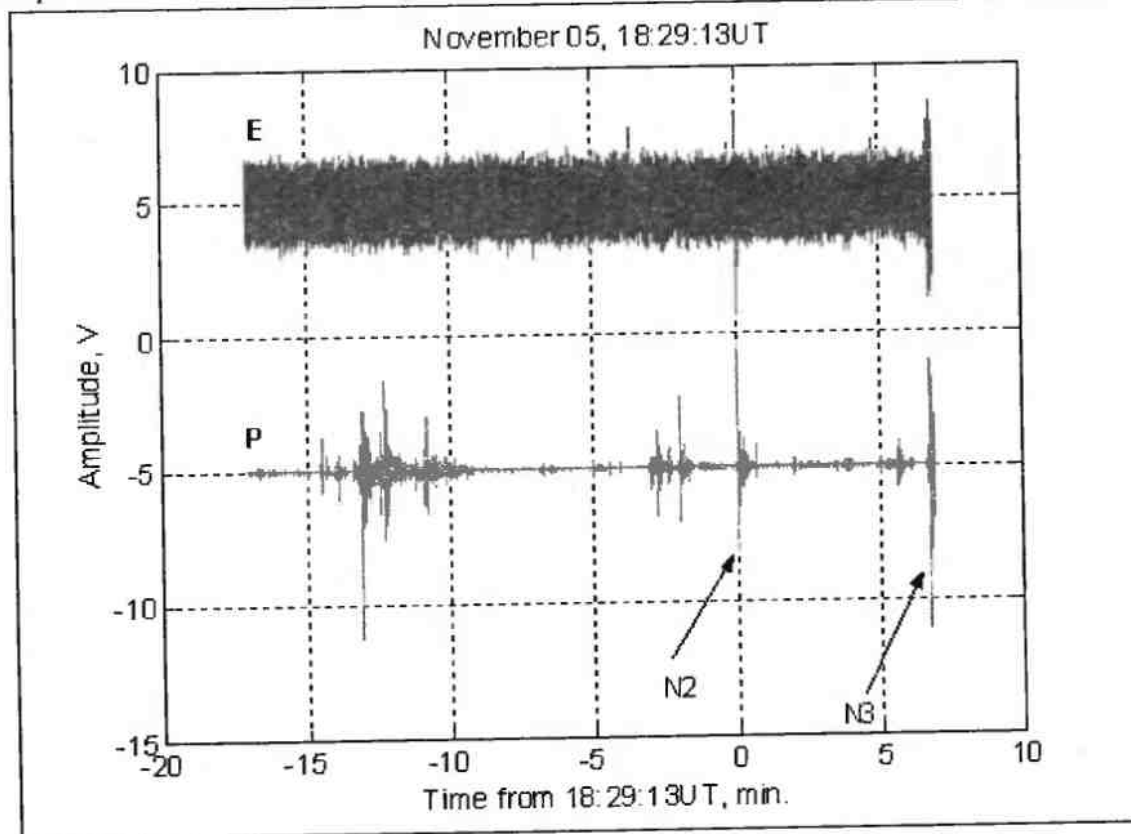


Рис. 6. Записи вариаций атмосферного электрического поля (Е) и инфразвука (Р) во время двух землетрясений 5 ноября (N2 и N3). Время по оси абсцисс отсчитывается в минутах от момента первого землетрясения (N2). Амплитуда сигналов дана в вольтах; к сигналу (Е) применен множитель 103; кривые для наглядности смещены.

Основная проблема при идентификации сигналов, генерируемых при землетрясении в различных геофизических полях, состоит в доказательстве того, что датчики не регистрируют собственные механические колебания при толчке, т.е. не работают как сейсмографы. В случае на рис.6 таким доказательством в определенной степени может быть отсутствие сигналов в  $E$  во время достаточно сильных сигналов в акустике, например, видимые за 10-13 мин. до землетрясения, хотя сильный инфразвуковой сигнал не обязательно должен сопровождаться значительными механическими колебаниями почвы, а значит и электрометра. Но, с другой стороны, датчик "E" не реагировал на заведомо сильные вибрации, возникающие при передвижении по территории станции автомобиля. Еще одним фактором является существенное различие спектров акустических сигналов от землетрясения и спектров помех (скорее всего связанных с перемещениями сотрудников по территории станции). В спектрах акустических сигналов от землетрясения большая часть энергии лежит в высокочастотной области, в спектрах помех, - в низкочастотной. При большей чувствительности электрометра на высоких частотах это может приводить к селективности воздействия. Однако спектры сигнала  $E$ , вычисленные для временных интервалов, охватывающих период землетрясения и вне его, представляют собой спектр "белого" шума и различаются только амплитудой во всей полосе частот (больше 5 Гц). Отметим также, что электрометр подобного типа использовался нами при изучении вариаций атмосферного электрического поля, возникающих во время работы мощных виброисточников, и не показал заметной зависимости от механического воздействия на него в ближней зоне сеймовибраторов [Кузнецов и др. 1999].

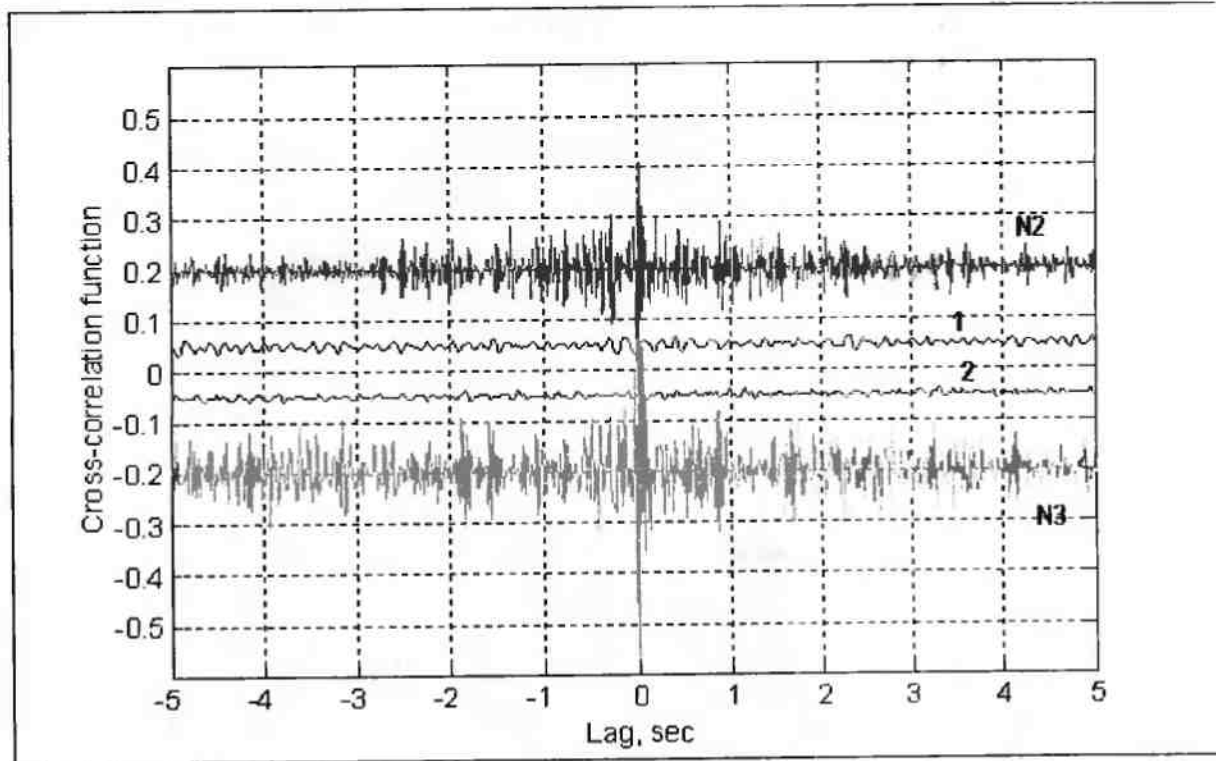


Рис.7. Взаимные корреляционные функции между инфразвуковым ( $P$ ) и электрическим ( $E$ ) сигналами. "N2", "N3" - ВКФ вычислены по фрагментам записей во время землетрясений 5 ноября (см. №2 и №3 в таблице), "1" и "2" - ВКФ вычислены по записи фона и записи, содержащей сильную помеху в акустике. По оси абсцисс - запаздывание в секундах. Кривые для наглядности смещены по вертикали.

Изложенное выше позволяет предположить, что наблюдаемые во время землетрясений сигналы в электрическом поле (рис.6) представляют собой действительные вариации

электрического поля. На рис. 7 показаны взаимные корреляционные функции (ВКФ) между акустическим и электрическим сигналами. ВКФ вычислены по фрагментам записей, полученных во время землетрясений (N2 и N3), и фоновых записей, - без сильной помехи (1), и с сильной помехой (2) - в акустике. ВКФ для наглядности смещены по вертикали. Как видно из рис. 7, фоновые сигналы не коррелируют, тогда как ВКФ(P,E) во время землетрясений достигает 0.2... 0.4 при нулевом сдвиге. Более детальный анализ позволяет выделить сдвиг примерно на 1/3 интервала дискретизации, который связан с задержкой между последовательно опрашиваемыми каналами АЦП и равный 6 мс для датчиков "P" и "E".

Синхронные по времени вариации электрического поля E и инфразвука P позволяют предположить, что сигнал E во время землетрясения может быть генерирован как в очаге (в этом случае скорость распространения электромагнитной волны делает несущественным различие в гипоцентральной расстоянии этих двух землетрясений), так и локально, при колебании во время толчка электрических зарядов в районе сейсмостанции (при этом ожидается, что колебания будут синфазны на значительной площади).

### Результаты магнитных измерений

Магнитные измерения выполнялись магнитометром POS-1 с помощью штатной программы VarStat, поставляемой с прибором и работающей в среде DOS. Использовался персональный компьютер типа PC386SX. Измерения выполнялись с временной дискретностью  $\Delta t = 3$  с. Выбранное значение отличается от принятого на Геофизической обсерватории "Ключи" (Новосибирск)  $\Delta t = 5$  с, поскольку обеспечивает лучшее временное разрешение измерений без потери точности. Отметим, что магнитометр POS-1 не реагирует на собственные механические колебания, что является его несомненным достоинством при исследовании процессов, сопровождающих землетрясения.

Результаты, полученные 5 и 6 ноября, очень плохие из-за сильных помех и практически непригодны для анализа. После переноса датчика POS-1 на новое место 7 ноября с 04:05UT качество измерений заметно улучшилось, - исчезли импульсные помехи и высокочастотные шумы, влияющие на оценку частоты прецессии.

На рис. 8 представлены результаты магнитных измерений в Акташе и Новосибирске за 8 ноября, а также разность  $F(akt) - F(nsk)$ . Стандартные 1-минутные данные  $F(nsk)$  были интерполированы на моменты измерений  $F$  на станции "Акташ". Можно отметить следующие особенности:

- корреляция вариаций  $F(akt)$  и  $F(nsk)$  невысокая практически во всем диапазоне частот (реальный смысл, конечно, имеют компоненты с периодами более 1 мин.). Оценки функции когерентности показали, что она достигает 0.5 только на частотах менее 1/20 мин.<sup>-1</sup>. Это хорошо заметно по разностной кривой, в которой присутствуют и медленные и быстрые изменения поля, характер поведения которых указывает на то, что они возникают из-за временной несинхронности процессов. В то же время в целом морфология вариаций, связанных с геомагнитными возмущениями, подобна для обоих пунктов измерений;

- в кривой  $F(akt)$  видны импульсные помехи, которые в большинстве случаев сопоставляются с движением автомобилей (как по шоссе, так и по территории сейсмостанции). Амплитуда магнитных сигналов от автомобилей, проезжающих по шоссе, составляет первые единицы нТл;

- фоновый шум в магнитном поле в Акташе в целом заметно ниже, чем на обсерватории "Ключи" (10 км от Академгородка, Новосибирск).

К сожалению, результаты (см. рис. 8) показывают, что обсерватория "Ключи" в Новосибирске не может быть базовым (опорным) пунктом для магнитных измерений на

Алтае - остаточные разности модуля  $F$  достигают 10 нТл даже при относительно спокойном поле. Поэтому для дальнейшего анализа использовались только данные, полученные в Акташе. Более того, поскольку контроль  $F$  в Акташе по данным опорной станции вне эпицентральной зоны отсутствует, то получить надежные выводы в отношении медленных вариаций поля на стадии подготовки землетрясения или скачкообразных изменений уровня после толчка не представляется возможным. Проявление особенностей сейсмичности в магнитном поле можно искать в вариациях  $F$  с характерными временами от 1 мин. и меньше (в нашем случае - до 3 с).

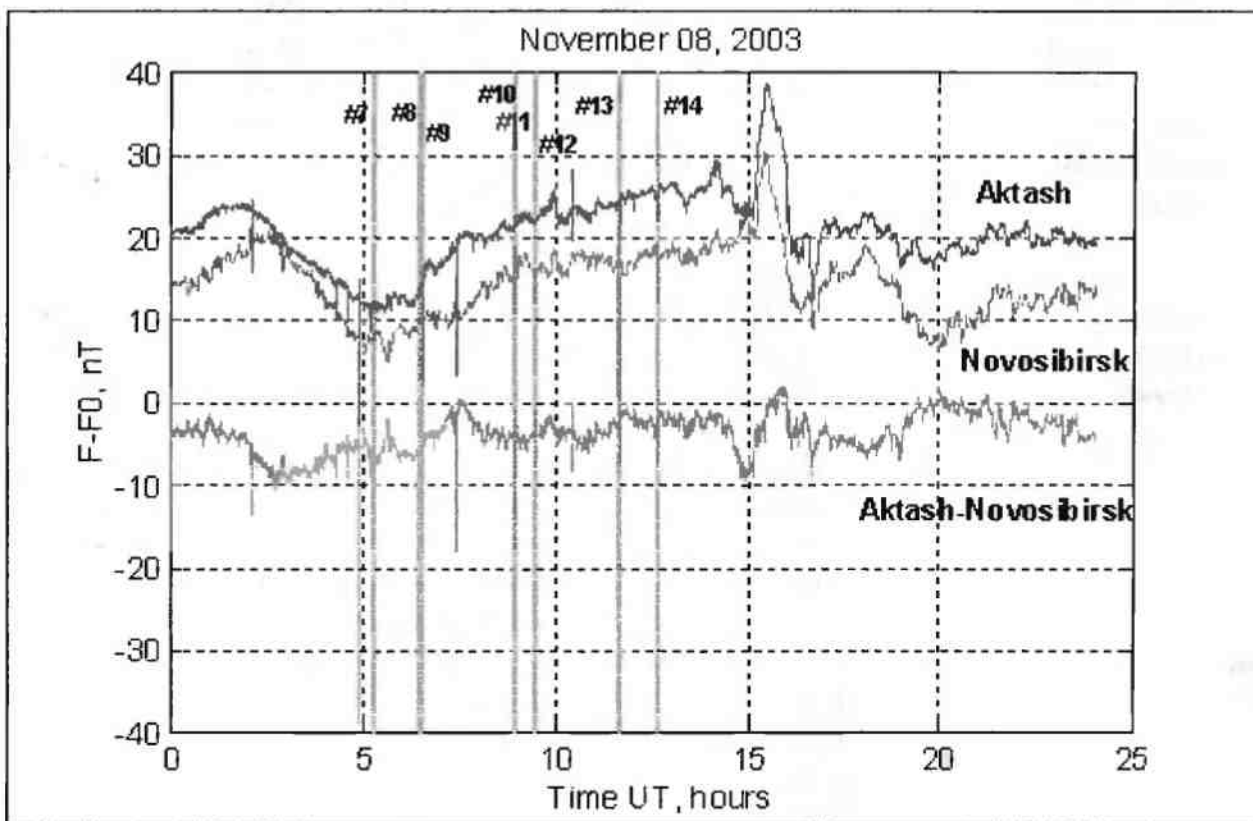


Рис.8. Результаты магнитных измерений на Алтае и в Новосибирске 8 ноября 2003 г. Постоянная часть  $F_0$  для обоих пунктов вычтена - 58480 нТл для Акташа и 59390 нТл для Новосибирска. К разности  $F(akt)-F(nsk)$  прибавлено 900 нТл. По оси абсцисс время UT. Вертикальными линиями показаны моменты землетрясений, цифрами - их номера согласно таблице.

На рис.9 показаны фрагменты записи вариаций магнитного поля 8 ноября (см. кривую "Акташ" на рис.8) шириной по 6 мин. относительно моментов землетрясений (последние отмечены треугольными маркерами). Большие отрицательные аномалии  $F$ , наблюдающиеся в 5, 6 и 11 час, являются следствием движения автомашин (хотя эти движения и не были зафиксированы в полевом журнале, отмеченные магнитные аномалии подобны тем, которые были надежно отождествлены как проявление эффекта перемещения транспорта). Как видно на рис.9, аномалии с характерными временами до 1 мин. и амплитудами более 0.5 нТл отсутствуют.



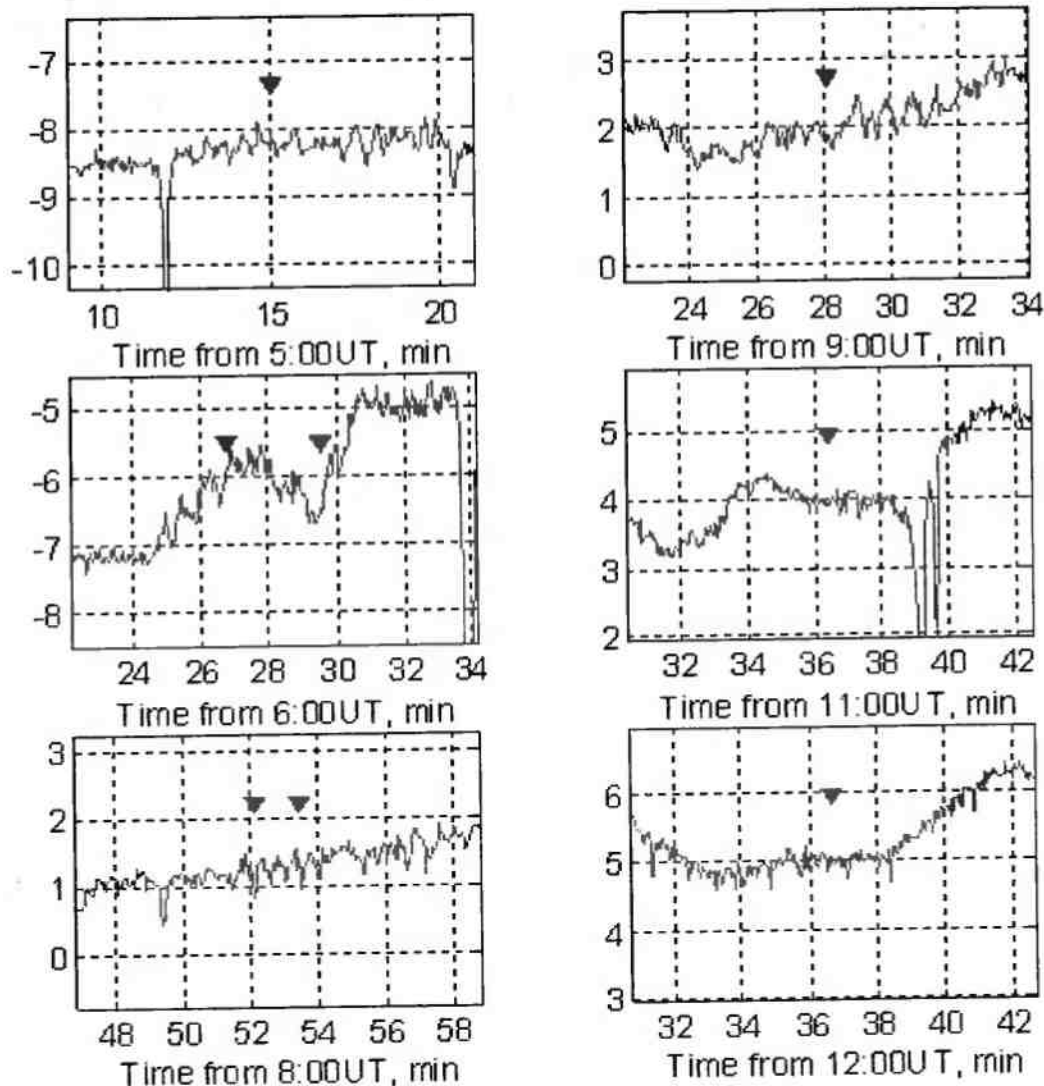


Рис.9. Вариации полной напряженности магнитного поля  $F$  в периоды землетрясений 8 ноября 2003 г. Маркерами отмечены моменты землетрясений. Время UT по оси абсцисс (в минутах) отсчитывается от начала соответствующего часа. Вариации по оси ординат даны в нТл.

### Обсуждение результатов измерений

#### Инфразвук

Как видно из таблицы, экспериментально было зарегистрировано, что акустический сигнал примерно на 1-2 с опережает сейсмический сигнал. К сожалению, отсутствие временной синхронизации при измерениях и результаты оценок систематической погрешности таймера косвенным путем не позволяют с высокой степенью надежности подтвердить реальность полученной величины задержки  $t$ . Тем не менее, этот результат может быть интерпретирован в рамках ударно-волновой модели землетрясения [Кузнецов, 1992], как период времени, по прошествии которого, в процессе лавинного образования трещин, возникающего в области гипоцентра землетрясения, образуется ударная волна, которая распространяется к поверхности Земли со скоростью, отличающейся (немного больше) по величине от скорости

S-волн. Отметим, что в наших наблюдениях не отмечалось связи времени опережения с эпицентральной дистанцией. Время опережения во всех случаях составляло одну - две секунды. Вероятно, что эта небольшая, но характерная для зарегистрированных нами афтершоков задержка связана с физикой самого удара (толчка). Иногда, как отмечалось нами выше, инфразвук в виде подземного гула регистрировался наблюдателями, находящимися в эпицентральной зоне, но удара за этим не следовало вообще. Это могло означать, что по каким-то причинам ударная волна либо вовсе не образовалась, хотя процесс лавинного образования трещин имел место, либо ударная волна разрушалась при распространении вверх и на поверхность земли вообще не выходила.

В пользу интерпретации результатов наблюдений инфразвука, сопровождающего афтершоки, в рамках ударно-волновой модели землетрясения может говорить еще один факт, который мы отмечали по ходу описания наблюдений. Речь шла о том, что линейная аппроксимация зависимости  $S = k dt$  по акустическим данным дает величину коэффициента  $k \approx 7.1$  км/с (см. рис.3). В то же время для оценки величины  $S$  Чуйского землетрясения в АСФ ГС СО РАН используется соотношение  $S = 8.2 dt$  (величина  $k$  оценивается по формуле  $S = [VPVS/(VP - VS)] dt$ ). Несовпадение коэффициентов при  $dt$  можно отнести за счет неточностей измерений. Однако на факт такого несоответствия можно посмотреть и по иному. Согласно ударно-волновой модели землетрясения источником инфразвука может быть процесс лавинного образования трещин. Принято считать (в стандартной модели), что этот процесс приводит к образованию большой трещины, которая "выходит на поверхность" и приводит к разрушению. В нашей модели этот процесс может приводить к возникновению ударной волны, которая, распространяется к дневной поверхности со скоростью  $V_0$  ( $VP > V_0 > VS$ ) и, выходя на поверхность - отражается. При отражении ударной волны в среде возникают волны разгрузки (растяжения). Взаимодействие этих волн между собой и с грунтом, собственно, и приводит к возникновению сильных движений: разрывов, разуплотнений грунта и отколов скальных пород, т.е. к "трясению земли". Разность в коэффициентах при  $dt$  не случайна, она определяется тем, что  $V_0 > VS$ . Сейсмический процесс, связанный с лавинным образованием трещин, приводит также к образованию и распространению P и S волн. Это явление регистрируется в инфразвуке как сигнал, предшествующий основному удару. Действительно, при такой интерпретации результатов скорость ударной волны оказывается примерно на 10 % выше скорости S-волны:  $V_0 \approx (8.2/7.1) VS$ . Инфразвуковой приемник регистрирует не саму ударную волну, а только звуковые сигналы, которые возникают при расщеплении ударной волны на неоднородностях среды. Эти сигналы, по определению, распространяются в среде со скоростями VP и VS.

На рис.2 показано изменение со временем инфразвука. Инфразвуковой сигнал опережает примерно на одну секунду главный удар. Может возникнуть вопрос, почему основной сейсмический сигнал, представленный P- и S-волнами не дает дополнительного вклада и не виден на рис.2? Если обратиться к рис.5, то он показывает, что в течение времени, предшествующего основному толчку, частота инфразвука повышается до верхней отметки полосы пропускания аппаратуры. По-видимому, это связано с тем, что спектр частот основного толчка землетрясения находится в основном в области слышимого звука и не регистрируется нашей аппаратурой.

Получение четкой картины регистрации инфразвукового сигнала, опережающего главный толчок примерно на 1 - 2 с позволит в дальнейшем учесть это явление при построении модели землетрясения.

#### Атмосферное электричество

Обратим внимание на то, что зарегистрированные нами изменения атмосферного электрического поля коррелируют с "полезным" сигналом инфразвука (рис.7), и "не замечают" инфразвуковой помехи другой природы (см. рис.6). Полезный сигнал отличается от помехи

не по амплитуде и частоте, а только тем, что в первом случае колебания воздуха, вызываемые колебаниями почвы, строго вертикальны. Подобное явление наблюдалось нами ранее, при изучении инфразвука вблизи работающего мощного сейсмовибратора [Кузнецов и др., 1999]. Физика атмосферного электричества, так же как физика землетрясения, далеко не ясна. Обнаруженная нами корреляция инфразвука и атмосферного электричества, возможно, помогут приблизиться к пониманию природы этих явлений. Предварительно можно сказать, что если инфразвук предвещает главный удар землетрясения, то, возможно, он может производиться сейсмогенерирующей средой и в более ранние периоды, а не только непосредственно в момент удара. Возможно, и в этом случае будет наблюдаться корреляция звука с атмосферным электричеством. Если это так, то у сейсмологов может оказаться достоверный с точки зрения физики землетрясения признак, на использовании которого можно попытаться делать прогноз землетрясения. Пока же можно отметить, что каким бы не был реально источник атмосферного электричества (например, грозы), в любом случае, величина атмосферного электричества определяется током и проводимостью среды. Если принять ток константой, то проводимость, определяемая концентрацией разделенных электрических стратифицированных зарядов, может меняться, если эти заряды начинают синхронно колебаться под воздействием механических колебаний, представляющих собой инфразвук.

### Магнитное поле

M.J.S. Johnston [1997] предлагает использовать термины "сейсмомагнитные" и "сейсмоэлектрические" эффекты для магнитных и электрических полей, генерируемых непосредственно землетрясением, и термины "тектономагнитные" и "тектоноэлектрические" эффекты для явлений в полях, предшествующие землетрясениям (или возникающими в некоторые другие моменты). Поскольку у нас отсутствовал базисный магнитометр вне эпицентральной области (данные магнитометра POS-1 в Новосибирске из-за значительности расстояния не могут быть использованы в качестве опорных, что хорошо видно на рис.8), то предметом анализа в нашем случае может быть только сейсмомагнитный эффект.

В основе сейсмомагнитных методов прогноза положено явление изменения величины магнитной восприимчивости изверженных горных пород, богатых магнетитом, таких как базальты, андезиты, диабазы и пр. При изменении механических напряжений в образцах этих горных пород, действительно было обнаружено явление, исследованное и описанное С.П.Капицей почти 50 лет тому назад [Капица, 1955]. В результате этих исследований автор обнаружил незначительное (максимальный эффект порядка 2 %) понижение магнитной восприимчивости базальтов при одностороннем сжатии образцов (на прессе) при изменении давления от 0 до 1 кбар. Автор [Капица, 1955, с. 503] приходит к выводу, что "горные породы не являются подходящими объектами для физических исследований магнитоупругих эффектов, и поэтому вряд ли целесообразно более детально анализировать результаты опытов". Несмотря на столь неоптимистическое заявление, исследование и даже попытки использования эффектов изменения геомагнитного поля, якобы связанных с вариацией тектонических напряжений, получили широкое развитие в мире. В обзоре [Johnston, 1997] приводятся модельные оценки пьезомагнитного эффекта: для пород с намагниченностью порядка 1 А/м и чувствительностью к напряжению около  $10^{-3}$  МПа<sup>-1</sup> ожидаемая аномалия магнитного поля составляет несколько нТл. Возможно, такие эффекты действительно проявляются в геологической среде, состоящей в значительной степени из базальтов, но в Горном Алтае, в районе расположения сейсмостанции Акташ, базальтов нет, - значит, нет, и не могут наблюдаться сейсмомагнитные эффекты, что было подтверждено нашими наблюдениями: Магнитометр, обладающий реальной чувствительностью порядка 0.05 нТл, не реагировал на афтершоковые толчки, находясь практически в эпицентре землетрясения.

Наш предыдущий опыт измерений магнитного поля вблизи работающего сейсмовибратора

показал, что мы практически всегда наблюдали изменение геомагнитного поля синхронно с сигналом от сейсмоприемника. И это несмотря на все наши попытки изолировать магнитометры других типов (по сравнению с прибором, используемым в настоящей работе) от воздействия сейсмических колебаний. Иначе, во всех наших экспериментах на сеймовибраторе магнитометр "работал" как сейсмоприемник. В данном случае магнитометр принципиально не реагировал на механические колебания. Следовательно, можно считать, что прямая связь между тектоническими напряжениями, вызываемыми афтершоковыми землетрясениями и геомагнитным полем не подтверждена. Это, возможно, в будущем "снимет с повестки" сейсмамагнитные методы прогноза землетрясений, по крайней мере, на Алтае.

### Заключение

Подведем итоги, выделим наиболее интересные экспериментальные результаты, отметим оригинальность некоторых "нестандартных" попыток их объяснений. Однако прежде всего отметим, что в настоящей работе использовался измерительный комплекс, разработанный для решения другой задачи: регистрации возмущений геологической среды в ближней зоне работающего мощного сеймовибратора. Именно решением этой задачи был определен диапазон частот приемников и измерительной аппаратуры и её чувствительность, что далеко не всегда удовлетворяло требованиям наблюдений афтершоковой активности. Отметим основные результаты:

1. Экспериментально обнаружено, что инфразвуковой сигнал предшествует сейсмическому сигналу. Причем в инфразвуковом сигнале четко выделяется структура, аналогичная структуре сейсмического сигнала: сначала приходит более слабый сигнал (аналог Р-волны), а следом за ней более сильный (аналог S-волны). Вполне возможно, что нами зарегистрирован сигнал, который в слышимом диапазоне регистрируется как подземный гул. Этот сигнал, так же как подземный гул, опережает сейсмический сигнал примерно на 1-2 секунды, и эта задержка не зависит от величины эпицентрального расстояния. К сожалению, точность временной синхронизации наших измерений не позволяет считать полученные результаты достаточно надежными.

2. Обнаружено, что при оценке эпицентрального расстояния по инфразвуковому сигналу, используется коэффициент 7.1 км/с, умноженный на время задержки между первым и вторым сигналами, в то время как в сейсмике этот коэффициент равен 8.2. Предложено объяснение, следующее из ударно-волновой модели землетрясения, согласно которой скорость распространения основного толчка (ударной волны) незначительно (на 10 %) превышает скорость распространения S-волны.

3. Обнаружена корреляция между сигналами инфразвука и атмосферного электрического поля в момент землетрясения. Помехи, наблюдаемые в инфразвуке и атмосферном электричестве, - не коррелируют.

4. Четко зафиксировано отсутствие сигналов в геомагнитном поле на уровне 0.5 нТл в момент землетрясения, что ставит под сомнение попытки делать прогноз землетрясения по вариациям в геомагнитном поле. Это утверждение, очевидно, требует для его уточнения проведения специальных исследований.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности продолжения наблюдений за инфразвуком, магнитным полем и атмосферным электрическим полем в период афтершоковой активности землетрясения. Целесообразно, по-видимому, иметь набор таких инструментов как дополнение к обычной аппаратуре сейсмостанций. Это позволит в дальнейшем подтвердить (или опровергнуть) данные наблюдений, а так же позволит более реалистично относиться к интерпретации результатов наблюдений в контексте ударно-волновой модели землетрясения. При этом было бы желательно произвести некоторую модернизацию используемой аппаратуры, например, повысить частоту приемника инфразвука для того, чтобы выяснить, на сколько этот сигнал связан с подземным гулом.

Следовало бы провести специальные исследования для того, чтобы уточнить факт повышения частоты звука перед толчком. Необходимо набрать значительно большую статистику случаев связи вариаций атмосферного электрического поля с инфразвуком. Крайне важно выяснить, существует ли связь между геомагнитным полем и землетрясениями в других сейсмически активных регионах, в районах, в которых имеются изверженные породы, такие как базальты. Заметим, что исследования связи сейсмичности с вариациями геомагнитного поля ведутся повсеместно, в различных сейсмически опасных регионах Земли, однако, очевидно, что, используя полученный нами опыт, следует применять магнитометры, не зависящие от сейсмических воздействий на них, аналогичные тому, который использовался в настоящей работе.

Авторы выражают благодарность руководителям АСФ ГС СО РАН: директору А.Ф.Еманову и главному инженеру В.Н.Кашуну за предоставленную возможность провести комплексные измерения на сейсмостанции "Акташ" и посетить другие сейсмостанции АСФ ГС СО РАН в Горном Алтае и ряд интересных мест в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения. Авторы благодарят Р.А.Дягилева, научного сотрудника Горного института УрО РАН (г.Пермь) за предоставленные данные по микросейсмичности.

### Литература

- Капица С.П. Магнитные свойства изверженных горных пород при механических напряжениях // Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1955, № 6, с.489-504.
- Кузнецов В.В., Плоткин В.В., Хомутов С.Ю. и др. Исследование геофизических возмущений при вибросейсмическом зондировании // Геол. и геофиз., 1999, т.40, № 3, с.442-456.
- Кузнецов В.В. Физика земных катастрофических явлений. Новосибирск. Наука. 1992:
- Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель очага землетрясения. Науки о Земле. М.: Вузовская книга. 2001. С.47-62;
- Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения // Вулканология и Сейсмология, принято в печать 2004.
- Кузнецов В.В. Физика горячей Земли. (<http://www.uiggm.nsc.ru/~kuz/site.htm>)
- Шебалин Н.В. Количественная макросейсмика (фрагменты незавершенной монографии)
- Вычислительная сейсмология. М.: Геос, 2003, вып.34.
- Johnston M.J.S. Review of electric and magnetic fields accompanying seismic and volcanic activity // Surv. Geophysics, 1997, vol.19, p.441-475.

## Институт геологии СО РАН, Новосибирск

Широко обсуждаемое сейсмическое событие 27 сентября 2003 года на юге Сибири (с основным энерговыделением по югу Горного Алтая) представляет собой интерес в проблеме решения задач межгеосферного взаимодействия. Отсутствие реального знания физики сейсмического очага и изоляция исследования землетрясений от других энергетических процессов в оболочках Земли обеспечили сейсмологии хронические (многолетние) неудачи прогноза землетрясений в практическом отношении.

Эти, да и другие причины, уже давно побуждают планетофизиков [9,11,12,25] расширять концептуальное пространство сейсмологии в сторону межоболочечных и солнечно-земных взаимодействий. Более того, ревизуются и возможности лабораторной физики на предмет ее соответствия в природных средах, процессах и явлениях. Здесь основное внимание уделяется не частному событию (теме данной конференции, а геоэнергетической специфике Горного Алтая [17,21].

Автору данной работы многие годы приходилось заниматься изучением светящихся образований в атмосфере и ближнем космосе [15,18,19]. Естественно, что длительный мониторинг за верхним полупространством, в том числе и на территории Горного Алтая, привел к нетривиальным результатам в понимании энергетики и структуры вертикальных взаимодействий литосферных глубин и ионосферных высот. И, как выяснилось, огромное значение в этих процессах имеют электромагнитные излучения (ЭМИ), причем повышенная встречаемость самосветящихся природных образований находится в обратной связи с уровнем сейсмичности территории. Но, прежде чем перейти к основной теме работы, целесообразно рассмотреть ряд вопросов современного тектонофизического состояния территории.

### 1. Основные особенности морфотектонических структур Горного Алтая

Подтверждена ранее отмечавшаяся для основной части Горного Алтая субширотная морфотектоническая структура (по орографии и ориентировке гидросети) [16,17]. Она является общей для всей Горно-Алтайско-Зайсанской провинции и аналогична морфотектонической структуре соседней геоактивной провинции Западного Саяна-Тувы. Эти геоморфологические провинции разделены субмеридиональным неотектоническим поясом, который протягивается от Монгольского Алтая и Западной Монголии в Прителенко-Верхнеабаканский район и севернее. На востоке Горного Алтая и западной окраине Западного Саяна и Тувы наблюдается сходжение и соединение разных систем морфотектонических элементов - субширотной и субмеридиональной. Примечательно, что именно эти районы отличаются повышенной энергонасыщенностью коровых процессов и современной сейсмоактивностью. Таким образом, устанавливается определенная крупнорегиональная форма связи сейсмической активности с морфотектоникой.

На космофотоснимках геоактивной территории (длительно изучавшихся А.Ф.Белосовым) четко дешифрируются два типа линсаментных (спрямленных) морфотектонических элементов.

Линейные уступы на границах гольцово-альпийской зоны четко дешифрируются на весеннем (5 мая 1978 г.) космоснимке, когда средне- и низкогорная зоны уже практически обтаили, а гольцово-альпийская (выше 2000 м) еще не освобождена от снежного покрова.

1. Региональные разломы с крупноамплитудным уступом в рельефе и спрямленной подошвой уступа. Они отделяют на протяжении в десятки километров и больше гольцово-альпийскую зону от средне- и низкогорной (горнотаежной, внутригорных степей), и кое-где последнюю от предгорной. В зоне уступа превышение рельефа поднятия над подошвой

достигает 1 км и больше. Эти линейные элементы одновременно несут черты ослабленных зон дробления, локализуя на себе цепи эрозионных врезов. Кинематические типы этих разломов, по-видимому, разнообразны (сбросы и взбросы, частью с существенной сдвиговой составляющей).

2. Региональные разломы с ослабленными к эрозии зонами, без крупноамплитудной вертикальной составляющей, существенно сдвиговые и, возможно, реверсивные.

3. Те и другие линейные элементы представляют собой, скорее всего зоны сближения активных сместителей - элементарных разломов.

Вне зон активных разломов первого типа контур гольцово-альпийской зоны столь четко не локализован, имеет сильно изрезанный или расчлененный вид, и эти участки, по-видимому, отвечают нормальным "пликативным" пологим склонам неотектонических поднятий без крупноамплитудных активных сбросов или взбросов. Поперечные размеры дешифрированных зон поднятия - десятки километров.

В субширотной морфотектонической структуре Горноалтайско-Зайсанской провинции обращает на себя внимание орографическая асимметрия почти всех основных гольцово-альпийских поднятий. Поперек зоны поднятия рельеф повышается в сторону линейного уступа, куда смещены и господствующие вершины. Отсюда рельеф резко спадает к следующему блоку, а затем идет повышение до зоны следующего уступа. Подобная закономерность проявлена в хорошо изученных других орогенных областях с параллельноупорядоченной морфотектоникой. Так в провинции Бассейнов и Хребтов С.Америки аналогичную асимметрию имеют неотектонические хребты шириной в первые десятки километров. Активный разлом - нормальный сброс или обратный сброс (взброс), который смещает поверхность и слои четвертичных отложений, - называется в этом случае фронтом хребта (range-front; [64]).

Фронтальная зона хребта около линейного уступа (разлома) поднимается наиболее активно, накапливая избыток потенциальной энергии силы тяжести, а под уступом поперек него возникает значительный горизонтальный градиент давления в породах коры. Перепад литостатического давления под уступом между хребтом и впадиной, в нашем случае, может составить до 0,25 кбар и больше [16].

Возвращаясь к общему неотектоническому плану Горноалтайско-Зайсанской провинции, отметим, что в субширотной морфотектонической структуре провинции вырисовывается еще одна региональная закономерность: большинство линейных орогенных уступов обращено на север. Такая экспозиция орогенных фронтов может быть увязана с общим потоком верхнекорковых масс от субширотной Тянь-Шаньской горной системы Средней и Центральной Азии в сторону Западно-Сибирской низменности. Градиент давления этого естественного предполагаемого потока энергетически должен суммироваться с отмеченным выше градиентом перепада давлений под режими орогенными уступами северной экспозиции.

Примечательно, что эпицентры землетрясений концентрируются чаще с северной стороны перед линейными фронтами поднятий (северный фас Сарымсақты-Тарбагатай-Южноалтайского, Холзунского, Северо-Чуйского поднятий), реже перед фронтом с южной стороны (Курайское поднятие). Таким образом, намечается приуроченность землетрясений к линейным напряженным поясам повышенного градиента литодавлений, связанного в основном с гравитационным перепадом тектонического рельефа.

В общем, подавляющее большинство инструментально зарегистрированных малоглубинных землетрясений в Горном Алтае, Зайсанском поясе и на западе Тувы приурочено к межгорным впадинам, что говорит в пользу того, что землетрясения здесь являются в основном откликом на энергонакопление за счет перепадов литодавлений, связанных с контрастным тектоническим рельефом. В некоторых местах повышенная сейсмичность распространяется и на поднятия (Северо-Чуйское, Шапшалское). Последнее можно связать с функционированием существенно сдвиговых активных разломов. Можно

допустить, что гравитационные подвижки по разломам в некоторых случаях играют триггерную роль для горизонтально-сдвиговых перемещений, связанных с региональным течением масс и наоборот.

## 2. Сеймопассивные и сейсмоактивные блоки Горного Алтая

Изложенные результаты предварительного изучения подтверждают конструктивность моделей, в которых сеймотектоническая система делится на сеймопассивные (где на больших временах сохраняется, не достигающие предела прочности, напряженное состояние массива) и разделяющие их сейсмоактивные зоны с высокими градиентами и концентрацией напряжений, приводящей к разрывам и сейсмической релаксации напряжений. В нашем случае сейсмическая релаксация отнесена в основном во фронтальные зоны поднятий и в межгорные впадины, а также в зоны региональных сдвигов. Гольцово-альпийские поднятия региона в основном асейсмичны [16].

Выделенные активные разломы своей значительной протяженностью отвечают разломам глубинного заложения, что подтверждается данными гравиметрии и магниторазведки и работами по МТЗ [27]. Так, разломы, ограничивающие Коргонское, холзунское и Южно-Алтайское поднятия, западнее в Рудно-Алтайской зоне у Змеиногорска, Лениногорска и Маймыра, трассируются (в основном по аномалиям силы тяжести) как зоны субширотных глубинных разломов, поперечных к основному простиранию геологических структур палеозоя [35]. По данным прошлых лет ПГО "Запсибгеология", по гравианомалиям квалифицированы как зоны глубинных разломов северная граница Холзунского поднятия и граница Северо- и Южно-Чуйского выступов. Северный уступ Коргонского, южные уступы Теректинского и Курайского хребтов совпадают с долгоживущими глубинными разломами, разделяющими региональные структурно-формационные зоны.

Таким образом, под рассматриваемыми линейными уступами и сдвиговыми линейностями в общем случае продолжают на значительную глубину повышенные градиенты плотностей и давления поперек разломов, способствующие глубинной электрогенерации, концентрации напряжений и проявлению сейсморазрывных подвижек. Естественно предполагать продолжение на значительные глубины по разлому ослабленных зон дробления с повышенной проницаемостью для воды и других флюидов, влияющих на деформационные и прочностные свойства горных пород.

В морфотектонической структуре Горноалтайско-Зайсанской провинции выявляется еще одна, причем довольно специфическая особенность - наличие протяженной субширотной осевой цепи грабенов (Кош-Агачская и Курайская степи - Уймонская степь - Коксинская и Убинские впадины). На большей части эта цепь впадин сейсмоактивна. С юга зона грабенов окаймлена фронтами хребтов (уступами) обычной северной экспозиции, а с севера - уступами аномальной для региона южной экспозиции. Протяженность цепи грабенов - около 500 км. С учетом этого, неотектоническая орогенная структура провинции может быть увязана в систему субширотного ассиметричного рифта с сильно приподнятым южным плечем (Южный и Монгольский Алтай, Катунский и Холзунский хребты) и менее поднятым северным. Таким образом, Горноалтайско-Зайсанская геоморфологическая провинция может быть представлена как своеобразная суперпозиция ("гибрид") параллельноупорядоченного орогена с осевым обрушением.

На известных схемах аномалий гравитационного поля (нормальное значение которого определено с поправкой на имеющиеся расчетные мощности земной коры) сводовой части описанного рифта соответствует региональная субширотная положительная аномалия, которая вдоль осевой линии грабенов (Усть-Кокса - Кош-Агач) осложнена относительными минимумами с малым положительным или отрицательным значением поля.

К южному плечу рифта приурочены гравитационные максимумы Катунского и Южно-Чуйского хребтов, а к северному - максимумы Теректинского и Курайского. Таким образом, выявленный активный Горноалтайский рифт получает подтверждение как региональная



структура глубокого заложения. Гравитационные максимумы вблизи оси структуры при этом естественно связать с поднятыми блоками подкорковых мафитов и ультрамафитов, а осевой минимум - с разуплотнением вещества (термическим, фазовым, тектоническим).

В связи с новым толкованием неотектонической структуры провинции интересны недавно полученные данные о резко аномальном подъеме кровли астеносферы под Катунским хребтом [16,27] сразу к югу от осевой зоны обрушений. Появляется возможность представить восходящий глубинный массо- и энергопереток под ассиметричным рифтом моделью плюмажа, отклоняющегося к северу.

### 3. Поля девиаторных напряжений и локализации низкоатмосферных свечений

Поле сейсмогенерирующих (девиаторных) напряжений в регионе можно представить как суперпозицию трех составляющих [16]:

1. Компонента общерегионального сжатия в субмеридиональном направлении, сопряженная со сползанием масс верхов коры на север, что устанавливается по субширотному плану неотектонических поднятий и по северной экспозиции фронтов большинства поднятий;

2. Компонента сдвига, в основном субмеридионального, устанавливаемая по активным сдвиговым линейаментам в восточной части Горного Алтая;

3. Девиаторные напряжения, связанные с градиентами силы тяжести (энергии рельефа) в субмеридиональных профилях, между основными неотектоническими поднятиями и разделяющими их впадинами, включая цепь осевых грабенов. Заведомо максимальные градиенты силы тяжести и, вероятно, повышенные девиаторные напряжения имеют место в полосе фронтов поднятий, а минимальные - на сводах поднятий и их пологих тыльных склонах.

4. Выше было обращено внимание на повышенную сейсмичность основных сдвиговых линейаментов, а также полос перед фронтами основных поднятий и в осевых грабенах. На карте распределения эпицентров землетрясений ясно видно, что общий спад сейсмичности идет от наиболее приподнятой южной части Горного Алтая на север, а также от горной части к западным предгорьям.

Проведенный предварительный морфотектонический анализ территории позволяет уточнить вопрос о региональной локализации аномальных атмосферных свечений на юге Горного Алтая, которые обычно избегают сейсмоактивных зон [15,19].

Обращает на себя внимание, что уникальный район повышенной концентрации низкоатмосферных свечений тяготеет к наиболее приподнятой части Горного Алтая. Из сопоставления карты зафиксированных атмосферных свечений и морфотектонической схемы следует далее, что на юге Горного Алтая они локализуются в основном над гольцово-альпийскими поднятиями (Холзун, Катунский, Теректинский, Южно-Чуйский хребты). Там, где наблюдения велись систематично, локализация свечений над гольцово-альпийскими поднятиями даже более отчетлива, чем сейсмичность этих поднятий. Антагонизм между сейсмичностью и свечениями на самих поднятиях подтверждается тем, что на Северно-Чуйском и Курайском хребтах с их повышенной сейсмоактивностью свечения отмечаются редко, несмотря на то, что эти хребты хорошо видны из населенной долины р.Чуи. Для подтверждения, однако, нужны более регулярные наблюдения.

Можно предположить, что аномальный ареал низкоатмосферных свечений связан с некими уникальными особенностями электромагнитного режима недр наиболее поднятой южной части Горного Алтая. С этой точки зрения следует обратить внимание на отмеченные выше новые данные об уникально высоком положении кровли астеносферы в этом районе. В дальнейшем следует попытаться осмыслить возможные особенности структуры носителей электромагнитного поля коры в этом районе, чтобы подойти к интерпретации обособления блоков со свечениями от сейсмоактивных.

По мере расширения картирования природных самосветящихся образований (ПСО) не

вещественного характера [15] было установлено, что Горный Алтай является территорией максимальной встречаемости по всей территории Сибири. Имеются серьезные исследовательские результаты о встречаемости ПСО на территории Приморья в целом и Владивостока в частности [1]. Как и в случае Горного Алтая, встречаемость ПСО в Приморье определяется интенсивностью геодинамических зон и подновлений глубинных разломов. Причем, основные очаги наблюдения ПСО, как правило, локализуются в местах особых качеств геолого-геофизической среды [4,8,18,38,39,40]:

1. Сгущение сети активных разломов;
2. В местах вертикальных (межгеосферных) энергоперетоков в широких спектрах электромагнитных излучений;
3. На границе интрузивных и терригенных горных пород, контакты которых способствуют глубинной электрогенерации;
4. Наличие и сгущение встречаемости рудных тел, а также в местах повышенного радиационного излучения природного генезиса;
5. В местах с пониженной балльностью землетрясений.

Отметим особо, что тяготение ПСО к местам с пониженной сейсмичностью - довольно серьезный признак функциональной роли ПСО в геолого- геофизической среде. Эта роль, наиболее вероятно, состоит в том, что ПСО каким-то образом управляет совокупностью диссипативных геодинамических и геофизических процессов, таких как: инверсия геомагнитного поля, вулканизм, сейсмичность, вариации магнитных и электрических полей и др. И в связи с тем, что в местах повышенной встречаемости самосветящихся образований снижается высокобалльная сейсмичность [15], можно предполагать механизм разгрузки очага землетрясения генерацией определенных видов ПСО. И в этом отношении групповое проявление этих образований можно принимать в качестве системы энергоемких межоболочечных связей Земли [1,13,24,45,46]. При этом, неоднократно отмечались особые виды энергоемких процессов. Основные из них: электромагнитные влияния, ротационные силы (зарождение разномасштабных вихрей), тепловые явления, глубинные взрывы [49,56,57,60].

Рассматривая вопрос геоэффективности ПСО, не только с учетом региональной специфики геолого-геофизической среды, а в целом по планете, следует отметить такой факт. В соответствии с мировыми архивными данными выявлены годы основных максимумов встречаемости наблюдений образований. Например, в ряду годов, примыкающих и к 1908 году (Тунгусский феномен [18]), и к 1967 году (всплеск наблюдений), по нашим предположениям должен был проявиться глобальный эффект снижения сейсмичности. Для проверки гипотезы была использована таблица энергетических оценок [32] суммы "сейсмических затрат энергии за один год".

Годы	1906	1907	1908	1909	1910
$E_{\Sigma} \cdot n \cdot 10^{24}$ эрг	26,9	4,36	2,77	5,90	14,1
Годы	1965	1966	1967	1968	1969
$E_{\Sigma} \cdot n \cdot 10^{24}$ эрг	1,89	+3,58	0,59	7,68	2,79

Согласно приведенным количественным оценкам, отображающим характер поведения интегральной величины сейсмических годовых энергетических затрат (были учтены высокомагнитудные землетрясения - М 7), можно сделать вывод об обратной зависимости встречаемости высокомагнитудных землетрясений от ПСО. Этот, практически важный вывод об энергетических взаимосвязях самосветящихся образований и высокомагнетудных землетрясений представляет собой серьезную подсказку в направлении поиска нового подхода к пониманию энергообеспечения сейсмических

процессов и физики очага.

Этот вывод в ряде случаев косвенно поддерживается и работами по сейсмогеолиферным взаимодействиям [4,11,25,27,28]. И, далее, если учесть, что встречаемость ПСО "обрамляет" или сопровождает все энергоемкие процессы, как в верхнем полупространстве (грозы, ураганы, торнадо, тайфуны) [24,37,41,49,57,58,31,33,40,45,51], так и в нижнем (землетрясения, подземные взрывы, извержение вулканов), то просто непонятно, с чем связано исследовательское пренебрежение явлениями самосвечений. При более детальном изучении может оказаться, что имеет место инверсия причинно-следственной связи. И в некоторых геоактивных и сейсмонагруженных зонах не землетрясения "вызывают свечения", а энергоемкие, устойчивые, слабо и сильно светящиеся пространственные образования (домены) могут регулировать сейсмические процессы, т.е. послужить триггером для сброса накопившихся упругих напряжений, либо в режиме электромагнитных взаимодействий "очаг-ПСО" перевести сейсмическую энергию в ЭМ-излучение.

#### 4. Электромагнитные межгеосферные взаимодействия и перетоки

Уже к концу 70-х годов начали появляться наблюдательные и регистрационные данные о дистанционных реакциях активных геодинамических зон на удаленные очаги землетрясений, причем это удаление измерялось тысячами километров и даже в межконтинентальных масштабах [7,22,24,41]. Горизонтальные связи генерировали энергоемкие реакции, которые сказывались на весьма ответственных параметрах состояния геолого-геофизической среды: деформационные процессы в верхней литосфере, гидрогеохимические аномалии, частотные и амплитудные вариации ЭМИ, ионосферные плазменные несравновесия и др.

Касаясь вертикальных, литосферно-ионосферных взаимодействий, можно говорить о "разнообразии" передаточных механизмов, поскольку связь осуществлялась либо по одному, или по целому комплексу хорошо известных и регистрируемых параметров. Характерно также и то, что амплитудно-частотные (т.е. и пространственно-временные) показатели этих процессов связи "были зажаты" в определенных пределах и не выходили за некоторые частоты [24,29,32,45]. Наличие широко известных ограничений на энергоемкость в межоболочечной связи сродни энергетическим ограничениям на энергии землетрясений. О значительном и неожиданном источнике сейсмических сигналов, который не укладывается в основные сейсмологические модели, пишет Ингель Л.Х. [26]. Ссылаясь на регистрационные данные исследователей торнадо [61,62], он, в попытках представить количественную модель генерации и сейсмических волн прохождением торнадо, все же вынужден признать, что ощущение колебания почвы отмечается на расстоянии 2-3 км от торнадо.

Рассматривая квазипостоянное электрическое поле атмосферы и неравновесное плазмостояние ионосферы в связи с литосферной сейсмичностью, мы не должны упускать из виду и вторую составляющую процессов связи, а именно, "внешнюю" солнечно-земную последовательность процессов [10,11,25,45,47]. В любом случае надо иметь в виду, что сейсмоионосферный эффект может иметь "солнечный след" значительно усиливающий связи, особенно в годы активного Солнца.

В этом отношении большой интерес представляет поиск геоэффективных меридиан Солнца. Поиск географических меридианов на Солнце [19,21] при изучении грозоактивности Горного Алтая выявил грозозффективные земные сутки солнечных оборотов за время мониторинга гроз [21]. Выполненная А.В.Шитовым работа по выявлению "сейсмозффективных" меридиан солнечных оборотов (рис.1) иллюстрирует сейсмозффективные меридианы Солнца, приходящиеся на 11-ые и 12-ые земные сутки солнечного оборота. Как и обнаружение грозоактивных меридиан Солнца, сейсмозффективные меридианы подлежат дальнейшему более обширному и глубокому изучению.

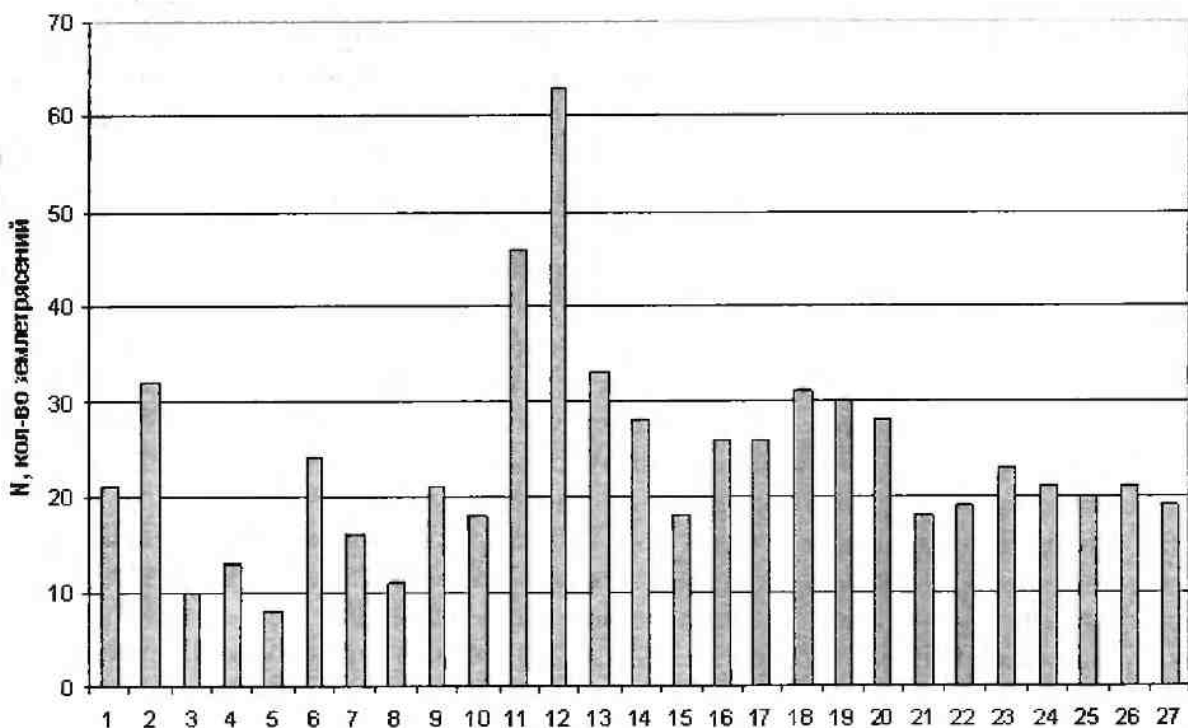


Рис. 1. Распределение количества землетрясений Алтае-Саянской горной складчатой области по суткам солнечного оборота

В некоторых работах [28,30,41,43] утверждается, что существует вероятность передачи электрического поля в ионосферу в случае, когда приповерхностная напряженность значительно выше фоновой ( $10^2$ - $10^4$  В/м). Естественно, что это условие легко выполнимо для активных геофизических зон и сейсмонагруженных участков. Не редкость, когда вариации электрополя и в геоактивной литосфере, и в возбужденной атмосфере, могут достигать  $10^6$  В/м. [12,53,58,60].

Интерес к глобальным процессам энергопереноса (в литосферно-ионосферных масштабах), а также к причинам сейсмических процессов приводят к обязательному учету пространственно-временных характеристик геологических систем, что, в свою очередь, снова обостряет вопрос "сквозной передаточной среды" и поиска механизма ее функционирования [3,5]. Относительно количественных характеристик времени отметим, что, по оценкам В.А.Моргунова [41], в зависимости от состояния и качества геолого-геофизической среды данной территории постоянная времени атмосферы  $\theta$  колеблется в пределах  $2.5 \cdot 10^3$ - $10^4$  с. Если  $\tau_0 \ll \tau_0$ , то такие процессы не смогут существенно влиять на ионосферу и атмосферу. Характерно, что для воздействия на ионосферу слабыми сверхфоновыми воздействиями требуется пространственная отдельность по толщине  $H \sim 50$ - $100$  км и длиной в  $l$  ( $l > H$ ). При этом отклик ионосферы на слабые воздействия электрозаряженности атмосферы вблизи поверхности Земли осуществится при  $\tau_0 \geq \tau_0$  и  $l > H$ . Естественно, что мощные импульсные воздействия на ионосферу во время гроз, подземных гроз [12,56], ядерных взрывов [20,48], извержений вулканов, землетрясений на многие порядки превышают процессы по существу не изученных слабых природных механизмов раскачки ионосферы [4,20,22,55]. Например, экспериментальные ядерные взрывы порождают огромные импульсные излучения. Так при взрыве 10 Мт импульс только рентгеновского измерения (за  $10^{-8}$ с) достигает  $10^{15}$  Дж [55], а плотность ионизации  $10^{15}$  пар/см<sup>3</sup> с подвижностью 0,3 м<sup>2</sup>/в с, что приводит начальную электропроводность к

величине 50 мо/м. Не удивительно, что столь уникальные импульсные неравновесия среды порождают отклики типа - "взрыв с тротильным эквивалентом 10,4 Мт вызвал, по крайней мере, пять молниенных вспышек, каждая из которых развивалась вверх от уровня земли (или моря) и наблюдалась до тех пор, пока не была закрыта слоем облаков". Возмущение ионосферы при грозových проявлениях (особенно с линейным фронтом грозоактивности длиной около 100 км) в случае развития мезосферных разрядов (спрайты, джеты, эльфы и др. [61,62]) имеют совершенно другой, но тоже все еще неизвестный механизм своего возникновения.

При более детальном рассмотрении вопроса вертикальных энергоперетоков обнаруживается в подавляющем большинстве случаев решающая роль масштабов тектоно-физических факторов воздействия: стыки разнопрочных массивов горных пород, блочная структура с разной подвижностью отдельных блоков, сложные сети разрывных нарушений, сгущение сети активных глубинных разломов [1,12,16,28]. Все эти перечисления, тем не менее, не имеют и по настоящее время объяснения механизма и исходных источников энергии, для всего этого разнообразия энергоемких процессов.

Исследования [13,33], а также В.Г.Левшенко (1998) сверхнизкочастотных ( $f = 0,01-10$  Гц) литосферных электромагнитных сигналов вскрыли спонтанность их возникновения в сейсмонагруженных районах. Проводились регистрации ЭМ-сигналов от испарывания целика кристаллических горных пород на расстоянии сотен километров от очага. При этом можно отметить ряд свойств этих спонтанных сигналов:

- наличие поляризации сигнала по вектору геомагнитного поля;
- отмечается широкий спектр сигнала при амплитуде до 400 нТл;
- зарегистрирована суточная повторяемость хода изменения сигнала и выявлена

корреляция с приливными вариациями силы тяжести.

Эффекты в ультранизкочастотном диапазоне переменного магнитного поля при афтершоковой активности изучались многими исследователями. Отмечено, что УНЧ-вспышки (0,1-1 Гц) интенсивностью компонент от 0,03 до 0,2 нТл и длительностью около 30 мин возникли до основного "Спитакского толчка". За несколько часов до шока возросли ЭМИ-излучения с сотых до десятых нТл и за 2 месяца достигли фонового значения (0,03 нТл), причем генерация этих сигналов тока была строго локальной (диаметр около 100 км) и без участия ионосферно-магнитосферных процессов (Копытенко и др. 1998).

Взаимоотношение сгущений эпицентров землетрясений и максимальной плотности разломов, как показал П.О.Соболев и др. [47] зачастую не совпадают, причем отмечается, что по какой-то причине для глубокофокусных землетрясений (с глубинами более 300км) растет количество сильных землетрясений. Эти вопросы подымались и в ряде других работ [1,30,46,52], согласно которым очаги землетрясений связаны не с конкретной тектонической структурой (которая может быть и сильно- и слабоэнергоемкой), а с знакопеременными высокоградиентными аномалиями магнитного поля и с аномалией напряженного состояния, наложенной на современную геодинамическую обстановку верхов земной коры.

В этом отношении интересен также факт обнаружения неравновесной корреляции числа землетрясений с энергетическим индексом геомагнитной активности  $S_9$ . Как для грозовой активности [19,21] и выпадения торнадо в США [15], так и для встречаемости землетрясений (рис.2) на территории Горного Алтая, четко выявляется рост сейсмичности при значении геомагнитного индекса  $S_9=3$ . Это особый вид связи сейсмичности с геомагнитной активностью можно связать с особыми свойствами периодической активности неизвестной материи [5] или с поляризованным модифицированным вакуумом [15].

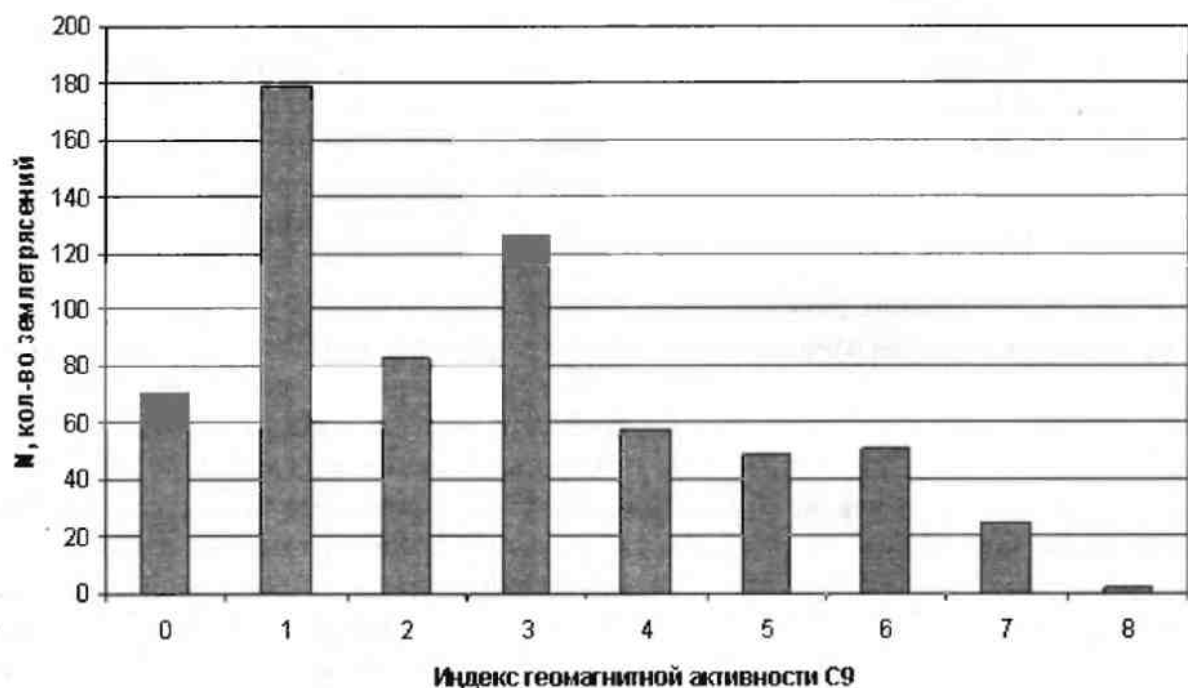


Рис.2. Распределение количества землетрясений Алтае-Саянской горной складчатой области, произошедших в дни с геомагнитными индексами C9

Конечно, сейсмoeлектромагнитные эффекты зависят и от конкретных физико-химических условий среды в сейсмонагруженных районах. Естественно, физико-геологические процессы в активных геологических зонах ведут к изменению не только локальной электропроводности, но и способствуют поляризации вещества, что сильно сказывается на геоэлектрическом разрезе горных пород и приводит к литосферной электрогенерации [24,29,30,31,36,41,45,48]. Этот эффект был вскрыт и нами [15,16,17] в ряде мест на территории Горного Алтая. Характерно, что обнаружение этих мест осуществлялось уточнением расположенных участков, над которыми визуально наблюдались самосветящиеся образования или были часто регистрируемы сигналы "ложных целей" в работе ПВО [15]. Из всех вышеизложенных материалов по литосферно-ионосферным связям важно подчеркнуть:

1. Существуют устойчивые вертикальные межгеосферные энергетические и вещественные перетоки, локализуемые в активных геодинамических зонах.

2. Имеется разнообразная и энергоемкая система функционирования этих зон, передаточной средой, для которых является феноменологическая устанавливаемая неизвестная материя.

3. В феноменах, выявляющих наличие и свойства неизвестной материи [5,15], содержится много твердо установленных фактов аномального характера: разнообразные виды свечений; необычные вариации и амплитуды ЭМИ; уникальные грозовые процессы и молниевые разряды ("спрайты", "эльфы", "пояса" и др.).

Однозначных и отчетливых объяснений этих аномальных процессов в геолого-геофизической среде все еще нет. Но мы будем и дальше наращивать отслеживание феноменов наличия и проявления неизвестной материи, это тем более важно в период нарастания скорости переполюсовки геомагнитного поля [59].

#### Заключение

И в завершение это, в каком-то смысле обзорной, статьи следует привести результаты некоторых работ, связанных с межгеосферными взаимодействиями и землетрясениями. Так,

в работе [44] изложены результаты длительного мониторинга аномальных вариаций естественного нейтронного потока в сейсмонагруженном районе вблизи Акмалы (Казахстан). Исследователи многократно отмечали резкий рост числа частиц (временной лаг 60 мин) по сравнению с фоновыми значениями. Причем, этот рост нейтронного потока происходит накануне (за 4 суток до толчка укладывается 70% событий) активизации сейсмических процессов. Что важно для нашей позиции рассмотрения проблемы, так это выявленная прямая линейная зависимость между "встречаемостью" нейтронов в единицу времени (1 час) и энергетическим классом землетрясения.

В этом отношении мы можем предполагать шунтирующую роль нейтронного потока для энергии готовящегося землетрясения, что прямо поддерживается эффектом "снижения бальности землетрясений и повышением встречаемости ПСО" [15]. И, как формулируют в заключении авторы [44]:

"Энергия солнечного ветра, передаваясь Земле, приводит в действие спусковой механизм процесса возникновения землетрясений в тех местах, где для них уже подготовлены условия".

И в этом отношении следует особо подчеркнуть синхронизацию рекордно энергетической активности Солнца (на спаде 23-го Солнечного цикла в октябре 2003 г.) и землетрясения по Югу Западной Сибири (с эпицентром в Кош-Агачском районе). Отметим также, что за 2-3 суток до основного толчка (27 сентября 2003 г.) на территории юга Горного Алтая отмечалось учащение наблюдений ПСО. И, буквально перед толчком, ряд жителей с Чаган-Узуна наблюдали как "три ярких крупных звездочки летели низко в сторону Кош-Агача". То есть само землетрясение является лишь частью сложных энергоемких межгеосферных процессов и, возможно, вызвано звеном мощных процессов в солнечно-земных взаимосвязях.

Следует также отметить выводы Соболева и др. [47] о том, что выявлена четкая линейная зависимость интенсивности космических лучей, регистрируемых нейтронными мониторами, от общего энерговыделения при землетрясениях по всему земному шару. Но и в этом факте скрыт все тот же вопрос причинно-следственных связей - не является ли рост интенсивности космических лучей причиной существования предела энергии отдельных землетрясений, а повышение встречаемости разнопроявленных ПСО регулятором сейсмического климата Земли?

Автор не ставил перед собой задачи "все объяснить и все опровергнуть", наоборот, расширить информационное поле и наметить возможные взаимосвязи энергоемких процессов в оболочках Земли и подчеркнуть управляющую роль солнечно-земных взаимосвязей.

### Литература

1. Абрамов В.А. Смерчи над Владивостоком // Вестник ДВО РАН, 1998, №2. - С.3-22.
2. Авакян С.В., Коваленко В.В. Неопознанные явления - "проделки" плазмы? Природа, №6. 1992. - С.72-77.
3. Алексеев А.С., Аксенов В.В. Об электрическом поле в очаговой зоне землетрясений // ДАН, 2003, том 392, №1. - С.106-110.
4. Анисимов С.В., Мареев Е.А. Аэроэлектрические структуры а в атмосфере // ДАН, 200, т.371, №1. - С.101-104.
5. Ахундов И., Гуссейнов М., Солодилов Л. Проблема прогноза землетрясений и пути ее решения // Проблемы предотвращения последствий разрушительных землетрясений. (Докл. Второго Казахско-Японского семинара 23-25 сентября 2002 г.). Алматы, 2003, - С.43-45.
6. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. - М.: Физматлит, 2001. - 320 с.
7. Баласанян С.Ю. Динамическая геоэлектрика. Новосибирск: Наука. - 1990. 229 с.
8. Барри Д. Шаровая молния и четочная молния. - М.: Мир, 1983. - 264 с.
9. Бучаченко А.Л., Орасвский В.Н., Похотелов О.А. и др. Ионосферные предвестники

землетрясений / УФН. Т.166, №9. - 1996. - С.1023-1029.

10. Бузевич А.В., Дружин Г.И., Фирстов П.П., Вершинин Е.Ф., Смирнов С.Э., Филимонов В.И. Гелиогеофизические эффекты предвещающие Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1977 г. - предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский. 1998. - С.177-188.
11. Бузевич А.В., Чернева Н.В., Бабаханов И.Ю. Литосферные процессы как проявление солнечно-земных взаимосвязей // Всероссийская конференция по физике солнечно-земных взаимосвязей (Программа и тезисы докл. 24-29 сентября 2001 г.). Иркутск. - 2001. - С.120.
12. Воробьев А.А. Физические условия залегания глубинного вещества и сейсмические явления // Томск. Изд.:ТГУ. 1974. - 271 с.
13. Гулельми А.В., Левшенко В.Т. Электромагнитный сигнал из очага землетрясения // Физика Земли, №9. - 1997. - С. 22-30.
14. Дегтярев В.И., Надубович Ю.А., Платонов О.И., Шумилова Н.А. О характере коррекции географического распределения полярных сияний и аномального геомагнитного поля // Полярные геомагнитные возмущения и связанные с ними явления. Апатиты. 1999. - С.16-20.
15. Дмитриев А.Н. Природные самосветящиеся образования. Новосибирск: Изд. Института математики, 1998. - 242 с.
16. Дмитриев А.Н., Белоусов А.Ф. Изучение глубинных особенностей Горного Алтая // Природные ресурсы Горного Алтая. Горно-Алтайск, ГАГУ, "Универ-Принт", 1997. - С.60-85.
17. Дмитриев А.Н., Буслов М.М. Электромагнитные признаки активизации глубинных разломов // Эндогенные процессы в зонах глубинных разломов. (Тез. докл. Всесоюзного совещ., ИЗК СОАН СССР). Иркутск. - 1989. - С.82-83.
18. Дмитриев А.Н., Журавлев В.К. Тунгусский феномен 1908 года - вид солнечно-земных взаимосвязей. Новосибирск ИГиГ СО АН СССР, - 1984. - 143 с.
19. Дмитриев А.Н., Шитов А.В. Природные самосветящиеся образования на территории Горного Алтая // Итоги и перспективы геологического изучения Горного Алтая. Горно-Алтайск: Горно-Алтайское книжн. Изд-во, 2000. - С.134-143.
20. Дмитриев А.Н., Шитов А.В. О возможных откликах структур Горного Алтая на подземные ядерные взрывы на полигоне Лоб-Нор // Горно-Алтайск, ГАГУ, "Универ-Принт", 1997. - С.110-120.
21. Дмитриев А.Н., Кочеева Н.А., Шитов А.В. Анализ грозовой активности Горного Алтая за 1958-19999 годы. Новосибирск - Горно-Алтайск: Универ-Принт, 2002. - 40 с.
22. Дробжев В.И. Краснов В.М., Салихов Н.М. Об ионосферных возмущениях, сопровождающих землетрясения и взрывы. Изв. ВУЗов, Радиофизика. 1978, т.21, вып.12. - С.1862-1863.
23. Дружин Г.И., Тороничева Т.В., Шапаев В.И. Регулярный шумовой фон в ОНЧ-излучении и мировые очаги гроз / Геомагнетизм и аэрономия. - 1998, т.28, № 1. - С.81-86.
24. Дымичев Б.С. Геомагнитные пульсации и прогнозирование землетрясений. Владивосток: Дальнаука. 2001. - 154 с.
25. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И. Природа аномальных возмущений в гелиосфере и их геофизические проявления // ДАН, 2004, том 394, №5. - С.606-610.
26. Ингель Л.Х. Эффективный механизм генерации сейсмических сигналов при взаимодействии смерчей с поверхностью Земли // ДАН, 2004, т.395, №2. - С.247-250.
27. Изучение взаимосвязи между сейсмичностью и низкочастотным электромагнитным излучением в сейсмоактивных районах Алтая с целью выявления возможных предвестников землетрясений электромагнитной природы // Отчет по теме 1.3.3.03.01. Составитель Кузнецов В.В. Новосибирск, Ин-т геофизики ОИГГиМ СО АН.-1991. 94



- с.
28. Исаев Н.В., Серебрякова О.Н. Электромагнитные и плазменные эффекты сейсмической активности в ионосфере Земли // Химическая физика. Т.19, №16. - 2000. - С.64-70.
  29. Киссин И.Г., Рузайкин А.И. Очаги землетрясений в поле геоэлектрических неоднородностей земной коры Байкальской рифтовой зоны // Физика Земли, №7. - 2000. - С. 67-75.
  30. Киссин И.Г. Высокоамплитудные предвестники землетрясений и "чувствительные зоны" земной коры // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. - 1988, №6. - С.3-13.
  31. Корнейчиков В.П. Исследование механизма формирования электромагнитного излучения горных пород в связи с прогнозированием землетрясений. Троицк, 1985. - 17 с. (Автореф. к.ф.-м.н.).
  32. Котляр П.Е., Ким В.И. Положение полюса и сейсмическая активность Земли. Новосибирск: ОИГГИМ СО РАН, 1994. - 123 с.
  33. Крылов С.М., Левшенко В.Т., Беляков О.С. Об электромеханических связях между ионосферой и литосферой Земли // ДАН СССР, т.319, №2, - 1991. - С.328-332.
  34. Крылов С.В. и др. Детальные сейсмические исследования литосферы на Р и S- волнах. Новосибирск. ВД "Наука", 1993. - 199 с.
  35. Кузбный В.С. Магматические формации Юго-Западного Алтая. Алма-Ата: Наука, 1975. - 342 с.
  36. Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения и оценка сейсмической опасности региона // Проблемы предотвращения последствий разрушительных землетрясений. (Докл. Второго Казахско-Японского семинара 23-25 сентября 2002 г.). Алматы, 2003, - С.102-110.
  37. Ларкина В.И., Мигулин В.В., Сергеева Н.Г., Сенин Б.В. Электромагнитное излучение над глубинными разломами по измерениям на спутнике / ДАН, 1998, том 360, №6. - С.814-818.
  38. Летников Ф.А. Синергетика среды обитания человека. Земля и Вселенная. 1998, №5. - С.17-25.
  39. Литинский И.Б. Предвестники подземных бурь. М.: 1988. - 128 с.
  40. Лунев В.И. Литоплазмы - новый канал взаимной связи литосферы и атмосферы // // Непериодические быстропротекающие явления в окружающей среде (Тез. докл. II-ой Всесоюзной междисциплинарной научно-технической школы-семинара 18-24 апреля 1988 г.). Томск. 1988. - С.57-58.
  41. Моргунов В.А. К природе литосферно-ионосферных связей // Физика Земли, №5, 1988. - С.80-87.
  42. Моргунов В.А. Электрические явления, предшествовавшие Шикотанскому землетрясению и его афтершоком // Докл. РАН, 1998, т.359, №1. - С.102-105.
  43. Морозова Л.И. Динамика облачных аномалий над разломами в периоды природной и наведенной сейсмичности // Физика Земли. 1997, №9. - 94-96.
  44. Остапенко В.Ф., Красноперов В.А. Аномальные вариации естественного нейтронного потока в сейсмически активной зоне // <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4951.html> , 2003 г.
  45. Пудовкин М.И., Распопов О.М. Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры // Геомагнетизм и аэрономия, 1992, т.№5, - С.1-22.
  46. Сальников В.Н. Образование электромагнитных систем в литосфере / ТПИ. - Томск, 1990. - 207 с. Деп. ВИНТИ 15.02.90. №1151-В90.
  47. Соболев Г.А., Шестопапов И.П., Харин Е.П. Геоэффективные солнечные вспышки и сейсмическая активность Земли // Физика Земли. 1998, №7. - С.85-90.
  48. Сурков В.В. Электромагнитные эффекты при землетрясениях и взрывах. М.: МИФИ, -

2000. - 408 с.

49. Сытинский А.Д. О планетарных атмосферных возмущениях во время сильных землетрясений / Геомagnetизм и аэрономия. Том 37, №2, - 1997. - С.132-137.
50. Тарасов А.В. Физика в природе. М.: Просвещение, 1988. - 351 с.
51. Фаткулин М.Н., Гайворонская Т.В., Зеленова Т.И. и др. Реакция ионосферы на повторные толчки в апреле 1984 после Газалийского землетрясения. М. 1987. - 23 с. (Препр. ИЗМИРАН 4(693)).
52. Хомутов С.Ю. Взаимосвязь ускорения осевого вращения Земли с региональной и глобальной сейсмичностью / Геология и геофизика, 1999, т.40, №4. - С.623-636.
53. Чалмерс Дж.А. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеониздат, 1974. - 421 с.
54. Шитов А.В. Природные самосветящиеся образования как экогеологический фактор на территории Горного Алтая. Автореф. канд. диссерт. Томск, 1999. - 24 с.
55. Эйби Дж.А. Землетрясения. М.: Недра, 1982. - 264 с.
56. Dmitriev A.N., Dyatlov V.L., Litasov K.D. Physical model of kimberlite pipes formation: new constraints from theory of non-homogenous physical vacuum // 7-th Intern. Kimberlite Conf. Cape-Town South Africa, 13-17 April, 1998. - P.196-198.
57. Flora S.D. Tornadoes of the United States. Oklahoma, 1953. - 194 pp.
58. Jones H.L. The tornado pulse generator. Weatherwise, v.18. №2. 1965.- Pp.78-79,85.
59. Newitt L.R., M.Mandea, L.A. McKee and J.J.Orgeval Recent acceleration of the North Magnetic Pole Linked to magnetic jerk EOS, Transactions AGU. 2002. - V.83. - Pp.385-389.
60. Vonnegut B. and Meyer J.R. Luminous phenomena Accompanying tornadoes Weatherwise, v.19. №2, 1966. - Pp.66-68.
61. Tatom F.B., Knupp K.R., Witton S.J. // J. Appl. Meteorol. 1995, v.34, №2. - P.572-582.
62. Tatom F.B., Witton S.J. // Seism. Res. Lett. 2001, v.72, №1. - P.12-21.
63. Winckler J.R., Lions W.A., Nelson T.E., Nemzek R.J. New high-resolution ground-based of sprites // J. Geophys. Res. D. - 1996.-101, №3. - H/6997-7004.
64. Zhang P., Slemmons D.B., Mao F., Geometric pattern rupture Termination and Fault segmentation of the Dixie Valley-Pleasant. Valley active normal fault system. Nevada, USA J. Struct. Geol., - 1991, v.13,12. - P. 165-176.

## Алтайский государственный университет, г. Барнаул

Горный Алтай, расположенный в западной части Алтае-Саяно-Монгольской орогенной области, является регионом, обладающим высоким сейсмическим потенциалом. Накопленный к началу XXI века теоретический и полевой материал позволяет говорить о том, что сильнейшие землетрясения, вызвавшие формирование сейсморазрывов и сейсмогравитационных структур, неоднократно происходили здесь в течение голоцена (Рогожин С.Г., Платонова С.Г., 2002).

Сильное землетрясение, случившееся 27 сентября 2003 г., явилось закономерным в ряду сейсмических событий этой части горной области. Оно произошло в условиях как сжимающих напряжений, ориентированных на север, так и растягивающих напряжений ориентированных в направлении запад-восток. В движении по обеим подальным плоскостям превалирует сдвиговая компонента. Эпицентр главного толчка имел координаты 49,97 град. с. ш. и 87,77 в. д. Наиболее сильный афтершок, происшедший в 22 час 52 мин. московского времени 27.09.2003 года (с магнитудой  $M=6,7$ ), имел координаты 50,16 град. с. ш. и 87,66 в. д. (Информационное..., 2003).

В структурном отношении эпицентры главного толчка и афтершоков проявились в пределах Чуйской эпицентральной зоны и приурочены к субширотной восточной ветви Чарышско-Теректинского разлома и северо-западному Северо-Чуйскому разлому.

Остаточные нарушения земной поверхности, возникшие в результате землетрясения, были зафиксированы в пределах Курайской и Чуйской межгорных впадин, в юго-восточной части Сарулукульской впадины, на склонах Южно-Чуйского, Северо-Чуйского и Курайского хребтов. Они представлены первичными сейсморазрывами и вторичными деформациями (дислокациями): оползнями, обвалами, осыпями и камнепадами, сейсмогравитационными отседаниями склонов, выбросами разжиженного преимущественно песчано-глинистого материала и компенсационными проседаниями земной поверхности.

Очаг землетрясения 27.09.03 г. вышел на поверхность в виде протяженной (около 20 км) S-образной в плане зоны сейсморазрывов северо-западного прогибания, имеющей характер правого сдвига, строение которой на разных участках описано Геодаковым А.Р. с коллегами (2003). Наиболее значительные макросейсмические проявления землетрясения 27.09.03 г. отмечались в урочище Узюк, расположенном в 13,0-15,0 км к западу от пос. Бельтир (Кызыл-Маны), на водоразделе рек Кускуннур - Талтура.

Сейсморазрыв, вышедший на поверхность в урочище Узюк, имеет западно-северо-западное (Аз. 110-290°) простирание и представлен крутопадающим (угол падения 70-75°) на юг правосторонним сдвигом с амплитудой смещения порядка 0,5 м, определённой по смещению отдельных микроформ рельефа. В общем плане правосдвиговой зоны по аналогии со структурными схемами зон скальвания он может быть охарактеризован как обратное косое нарушение Скемптона (обратный косой синтетический скл) (Стоянов С.С., 1977).

Строение сейсморазрыва урочища представлено в виде системы подставляющих друг друга зияющих сейсморов в полосе примерно 200-250 м на участке расширения приподнятой части водораздела на протяжении 2,5-3,0 км (рис. 1). Отдельные сейсморвы имеют длину до 50 м, ширину от 0,5 до 5 м и видимую глубину до 10-12 м. Направленность движения по закону правого сдвига отмечалась в смещении элементов отдельных рвов и по горизонтальной штриховке, отмеченной в отложениях делювиального шлейфа в пределах зоны.

На участках транспрессионного изгиба зияющие сейсморвы, которые являются структурами растяжения, сменяются структурами сжатия, представленными буграми вспучивания грунтов и наполнением почвы. На участках антитетических склосов (сопряжённых

сколов Ридея) отмечались левосдвиговые поддвижки с амплитудой 1,0-1,2 м, имеющие резко подчинённое значение по отношению к основным сколам зоны.

Перехода на склоны седловины, сейсморазрыв разветвляется, образуя два рва, которые зажимают между собой просевший блок (микрограбен). На восточном борту седловины ширина такого микрограбена составляет 25-30 м, а амплитуда опускания 0,5-1,0 м. На восточном продолжении, на левом берегу р. Талтуры, характер зоны изменяется. Ширина полосы разрывов в вершинной части окружающих сопок сужается до 10-20 м и представляет собой тонкую, тянущуюся по склону трещину, вдоль которой расположенные выше по склону грунты надвинуты на нижние с амплитудой смещения первые сантиметры (5 см).

Вторичные сейсмогравитационные дислокации землетрясения 27.09.03 г. в районе урочища Узюк представлены многочисленными проявлениями склоновых процессов. Но наиболее впечатляющим является гигантский оползень озёрно-ледниковых отложений, произошедший в месте сочленения субширотного и северо-западного разломов, в 7 км к западу от пос. Бельтир на правом склоне долины р. Талтура. Тело оползня имеет ширину около 1 км, высоту - 15-20 м, объём - около 20 млн<sup>3</sup> (данные М.С. Достоваловой).

Следует отметить, что очаг землетрясения 27.09.03 г. является достаточно стабильной структурой, многократно проявлявшей сейсмическую активность в голоцене и, видимо, в верхнем плейстоцене. По образцам палеопочвы в радиоуглеродной лаборатории Института географии РАН О.А. Чичаговой получены <sup>14</sup>C-датировки двух, видимо, наиболее близких по времени проявления сильных сейсмических событий с выходами очага на поверхность, относительно которых современный сейсморазрыв сместился к северу на несколько десятков метров (см. рис. 1). Наиболее хорошо заметны в рельефе следы в виде линейных депрессий, оставленные палеоземлетрясением, происшедшим 1280±30 лет назад (ИГАН-2818). В стенках современных нарушений они выражены в виде системы древних надвигов, с заполненными палеопочвой карманами под козырьком.

Более ранние сейсморвы, возраст которых по образцу почвы определён как 3340±30 лет (ИГАН-2817), не выражены в рельефе. Первичные деформации здесь также представлены системой надвигов, сместители которых падают на юго-восток (Аз. пд. 120°) под осевую часть седловины. Надвиги смещены более поздними сбросами с амплитудой 3-4 см. По информации, предоставленной А.М. Малолетко, молодые надвиговые деформации были отмечены по данным бурения в районе с. Бельтир.

Исследования долин и междуречья рек Талтура и Кускунур позволяют говорить о том, что и названные сейсмические события были не единственными, произошедшими в этой эпицентральной зоне. Об этом свидетельствуют оползневые и обвальные деформации фронтального типа, развитие в бортах эрозионных уступов и на тектонических склонах долин рек Талтура и Чаган. Одно из этих землетрясений привело к оползню циркообразного типа в правом борту р. Талтура, расположенного к востоку от гигантского оползня, образованного в результате сейсмического толчка 29.09.2003 г. и сопоставимого с первым по объёму оползших масс. Проследивая миграцию положения выхода очага, можно говорить, что речь идёт о сейсмическом событии более раннем, чем имевшее место примерно 3340 лет назад. А достаточно хорошая выраженность в рельефе аккумулятивного тела позволяют установить нижнюю временную рамку границей голоцена, т.е. не ранее 10000 лет.

Заслуживающим внимания из последствий землетрясения 27.09.03 г. являются выбросы и разливы разжиженных песка и грязи в виде грифонов или грязевых вулканчиков. Приурочены они в основном к низменным, кое-где заболоченным участкам, в геологическом строении которых принимают участие тонкодисперсные водонасыщенные рыхлые породы (глины, суглинки, пески пылеватые), способные при динамических воздействиях разжижаться до текучего состояния и изливаться на поверхность с образованием характерных конических или воронкообразных форм песчанно-глинистых грязевых "вулканчиков", трещин со следами излияния песчанно-глинистой грязевой массы и компенсационных проседаний земной

поверхности. Этот процесс имеет приповерхностный характер и обычно развивается на глубине не более 20-30 м. В данном случае нижней границей развития указанного процесса является верхняя граница вечной мерзлоты, фиксируемая на глубине 6-10 м - в районе Бельгира, 9-13 м - в районе Кош-Агача, 2-3 м - в урочище Узюк, и имеющая мощность - от 45-75 м до 400 м. Огромная энергия, выделенная при землетрясении, не только привела в движение подземные воды, но и растопила какое-то количество линз льда. В результате их выброса в районе Бельгира образовались грязевые озера.

Признаки готовящегося землетрясения наблюдались задолго до 27 сентября разными исследователями и отмечались по геофизическим, сейсмогеологическим, геоморфологическим, геодезическим, гидрогеологическим, биологическим и метеорологическим данным. Обобщение этих знаний позволит сделать нам ещё один шаг в решении проблемы прогноза крупных землетрясений, позволит выявить признаки, свидетельствующие о подготовке землетрясений региона.

По геофизическим данным сейсмотектоническую обстановку в пределах субширотной ветви Чарышско-Теректинского разлома в двадцатом веке определяли два сейсмических толчка: 14 сентября 1923 года с  $M=6,0$  и 20 сентября 1960 с  $M=5,1$ , макросейсмические проявления которых не известны (Информационное..., 2003).

Сейсмогеологические работы, проведённые в 1990-х гг. (Рейснер Г.И., Иогансон Л.И., 1996; Рогожин Е.А. и др. 1995, 1996, Рогожин Е.А., Платонова С.Г., 2002 и др.), позволили говорить о высоком сейсмическом потенциале этой части Горного Алтая, и выделить зоны, в пределах которых определялась возможность сильных сейсмических событий. Хотя, надо отметить, что сейсмогеологические исследования в эпицентральной зоне землетрясения 27.09.03 г. не проводились. А следы более ранних землетрясений, широко представленных в пределах долин рек Талтура и Кускуннур и описанных выше по тексту, изучались уже после последнего землетрясения.

Косвенным, но наиболее ярко проявленным, признаком повышения активности сейсмогенерирующих разломов (и в этом плане перспективным для выработки прогнозных критериев региона) является активизация склоновых процессов, отмечаемая с 1998 г. Склоновые процессы (селы, площадные смещения грунтов, оползневые деформации) в сейсмоактивных зонах являются наиболее чувствительными индикаторами рельефа и практически мгновенно реагируют на изменение глубинного состояния недр.

В 1998 году нами совместно с В.В. Скрипко отмечалось аномально большое количество селей и площадных смещений грунта в устьевой части долины р. Карагем - правого притока р. Аргут. При учёте, что они имели место вне зависимости от экспозиции, степени залесённости и отмечались в год, характеризующий средними количественными показателями годовых осадков. Проявление этих склоновых процессов затухало по удалению от условного центра зоны Чарышско-Теректинского разлома - долины р. Карагем. К сожалению, на этой территории в последнее десятилетие не проводились мониторинговые исследования развития склоновых процессов. И выводы об аномальности их проявления основаны на анализе геологических разрезов, а точнее, доли отложений катастрофического характера в пределах террас левого берега р. Карагем.

В этот же год А.Н. Куприяновым, И.А. Хрусталёвой было отмечено появление новых оползневых деформаций на другом участке Чарышско-Теректинского разлома, расположенного примерно в 90 км к востоку от устья р. Карагем - в долине р. Чаган-Узун (левого притока р. Чуи).

Резкое повышение количества новых оползневых структур и активизацию древних массивов отмечали М.С. Достовалова, В.Е. Кац, Г.А. Шергина в период мониторинговых наблюдений (2001-2003 гг.) на северной оконечности Чуйской впадины в пределах участка интерференции Курайского и Чарышско-Теректинского разломов.

В качестве метода долгосрочного прогноза, "сработавшего" при подготовке землетрясения

27.09.03 г., следует отметить геодезический. В зоне влияния Чарышско-Теректинского разлома (в районе Орголыка) в период 1978-1993 гг. по данным повторного нивелирования резко обозначилась отрицательная аномалия скоростей поднятия Чуйского тракта (2,5 мм/год по сравнению с 7,84-8,0 мм/год на соседних участках) (Рогожин Е.А., Платонова С.Г., 2002).

Все эти данные в скором времени должны быть проанализированы и на основании их выработаны комплексные критерии прогноза потенциальных землетрясений для Горного Алтая. И в этом плане, землетрясение 27.09.2003 г. предоставило уникальный материал для изучения и анализа. Уже сегодня по аналогии с ним по нашим наблюдениям за проявлением склоновых процессов и геодезическим данным мы можем предположить возможность готовящегося сейсмического события в пределах долины р. Байлюкем (междуречье рек Чуя и Башкаус на границе Р. Тывы) и районе урочища Чаган-Бургазы (на границе с Монголией).

Авторы выражают благодарность главе администрации Кош-Агачского района А. Ж. Джаткамбаеву, главе администрации Бельтира Р.Ч. Кыдатову, А.М. Тайташеву за помощь при проведении полевых работ. Работы выполнены при частичной поддержке ФЦП "Интеграция науки и высшего образования России на 2002 - 2006 годы" (проект № Э 0179/939).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Геодаков А.Р., Овсяченко А.Н., Платонова С.Г., Рогожин Е.А. Материалы предварительного изучения сильного землетрясения 2003 г. на Горном Алтае // Вестник отделения наук о Земле РАН (Электронный научно-информационный журнал), 2003. № 1.(21). 22 с.
2. Информационное сообщение об Алтайском землетрясении 27 сентября 2003 года // <http://www-ceme.gsras.ru>. 2003-09-30.
3. Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Оценка сейсмического потенциала Алтая с применением внерегионального сейсмотектонического метода // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. - Инф.-анал. бюллетень. - М.: ОИФЗ РАН, 1996. Т 3. - № 1-2.
4. Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Иогансон Л.И., Рейснер Г.И., А.Баясгалан, В.М.Кочетков, Р.А.Курушин. Опыт выделения и прослеживания сейсмогенерирующих зон методами геолого-тектонического анализа на территории Западной Монголии и Зайсано-Алтайской складчатой области // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. - М.: ОИФЗ РАН, 1995. Вып. 2-3. - С. 132-152.
5. Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В., Платонова С.Г., Чичагов В.П. Неизвестные сильные землетрясения Горного Алтая // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень. - М.: ОИФЗ РАН, 1996. Т. 3. - № 1-2. - С. 96-106.
6. Рогожин Е.А., Платонова С.Г. Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. М.: ОИФЗ РАН, 2002. 130 с.
7. Стоянов С.С. Механизм формирования разрывных зон. М.: Недра, 1977. 114 с.

# ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

*В.Е. Кац, Ю.В. Робертус*

**ОАО "АЛТАЙ-ГЕО", АРИ "ЭКОЛОГИЯ"**

Чуйское землетрясение (ЗМ) произошло на юге Республики Алтай в конце сентября - начале октября 2003 г. Оно внесено в список крупнейших геологических событий в мире в 2003 г.

Очаг землетрясения находился в пределах Чуйской сейсмоактивной зоны [2], на юго-западной окраине Чуйского и Курайского артезианских бассейнов, в приводораздельной части Северо-Чуйского хребта. Особенность обоих артезианских бассейнов, находящихся в одноименных высокогорных впадинах - наличие многолетнемерзлых пород (ММП) сплошного и островного характера. Мощность ММП в 10 км северо-восточнее эпицентра ЗМ по данным буровых работ оценивается в 70 м.

В тектоническом плане Чуйское ЗМ пространственно приурочено к двум крупным разломам Чарышско-Теректинскому и Северо-Чуйскому, а его основной очаг - к участку сопряжения этих структур.

Первые толчки, по результатам обследований ТЦ "Алтайгеомониторинг", в эпицентральной зоне ЗМ сопровождался широким спектром сейсмотектонических дислокаций первичными - трещинами, разрывами, рвами, а также вторичными явлениями - вспучиваниями и проседаниями почв и грунтов, осыпями, обвалами и оползнями. Наблюдалось многочисленное излияния (фонтирования) водных и водно-грязевых масс по трещинам в долинах рек зачастую с образованием озер. В целом в эпицентральной (30-60 км) зоне ЗМ в момент первого толчка наблюдалось интенсивное поднятие уровня подземных и поверхностных вод (по устным сообщениям до 1.5 м в реках). В отдельных населенных пунктах отмечались залповые выбросы подземных вод из самоизливающихся скважин, колонок, а вокруг родника в с. Бельтир образовалось озеро.

Как известно, обводненность пород, по которым распространяются разрушительные сейсмические волны, влияет на геологические деформации. Чем больше обводненность пород и выше уровень нахождения подземных вод, тем интенсивнее разрушение [1]. Это объясняет тот факт, что наиболее крупные трещины, разрывы, сейсморвы на поверхности земли проявились в долинах рек, где уровень вод составляет 3-10 м. Это долины рек Талтуры, Чаган-Узун, Чуя, Джазатор, Кызыл -Ташка.

Гидрогеологические факторы как признаки собственно сейсмогенных показателей ЗМ стали рассматриваться в последние 15 лет, в рамках изучения гидрогеодеформационного поля Земли (ГГД-мониторинг). Однако до сих пор недостаточно выяснена природа формирования и сохранения во времени тех или иных гидрогеохимических аномалий и связь их с геодинамическими процессами до и после землетрясений [1]. Не углубляясь в механизм связей гидрогеохимии с сейсмогенными процессами, рассмотрим гидрогеологические особенности в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения как возможных индикаторов произошедшего события.

В пределах Чуйской и Курайской впадинах и их бортовых частях распространены комплексы подземных вод в отложениях широкого возрастного диапазона. Это воды четвертичных, неогеновых, неоген-палеогеновых нелитофицированных отложений, а также подземные воды зон открытой трещиноватости девонских, кембрийских, вендских и рифейских образований.

ТЦ "Алтайгеомониторинг" осуществляет государственный мониторинг за состоянием подземных вод (ГМПВ) в республике Алтай с 1999 г. Это режимные наблюдения за гидродинамическим уровнем и гидрохимическим составом подземных вод. По результатам мониторинговых исследований за прошедшие годы ТЦ собран аналитический материал, позволяющий оценить фоновую гидрохимическую характеристику подземных вод по сезонам

года, что позволяет оценить динамику их в районе произошедшего землетрясения.

Как известно гидродинамический уровень подземных вод является предвестником ЗМ. В период подготовки ЗМ растет напряжение в земной коре, изменяется современный уровень вод (СУВ). По данным ТЦ наблюдалась следующая картина в районе ЗМ.

Анализ динамики современного уровня подземных вод в Республике Алтай за последние 3 года показывает, что в районе Чуйской и примыкающей к ней с запада Чарышской сейсмоактивных зонах, прослеживалась тенденция его падения.

Такой же характер изменения уровня характерен в целом для всех приподнятых структур (горсты, выступы, блоки)- Алтая Саянского бассейна жильно- блоковых вод. Динамика уровня вод в прогибах, грабенах имеет противоположный характер, т.е. наблюдался подъем уровня и увеличение расхода вод.

Для грунтовых вод и вод четвертичных отложений в целом характерно понижение уровня: в бассейне рек Кагуни на 0,3-0,94 м; Бии 0,54-1,2 м; Чарыша 0,2 м; в Телецкой озерной котловине 0,14 м.

В пределах Катунского, Телецкого и Теректинского блоков понижения уровня вод в терригенных, осадочных, карбонатных и вулканогенных образованиях кембрийского, вендского возраста, рифея и протерозоя варьировало от 0,4 м до 2 м, а дебиты родников уменьшились от 1,2 до 2,6 раза.

Дебиты родников и расходы *самоизливающихся скважин* *каптирующие* водоносные зоны в осадочно-вулканогенных породах в Ануйско-Чуйском, Уйменско-Лебедском прогибах возросли в 1,2-1,3 раза.

Заслуживают внимание факты "исчезновения" популярного среди местного населения источника Чульшманский Аржан (сероводородный), который находился на южной окраине Телецкой озерной котловины и каптировал воды метаморфических сланцев среднего протерозоя. Практически иссяк родник Чаган-Узунский имевший дебит 0,5 - 1,1 л/сек, прекратился самоизлив водозаборной скважины в с. Ортолык.

В Чуйском артезианском бассейне колебания уровня вод неогенового и палеоген-неогенового возраста носили разнонаправленный характер: в с. Мухор-Тархаты наблюдалась тенденция уменьшения, в с. Теленгит Сортогой - увеличения расхода самоизливающихся скважин, в с. Кош-Агач до сентября 2003 г.(с 2000 г) самоизлив в водозаборной скважине оставался постоянным на протяжении наблюдаемого периода.

В качестве гидрогеотермического фактора землетрясения обычно рассматривается температура вод [1]. Как правило, перед ЗМ поднимается температура вод за счет подъема вод с больших глубин. В эпицентральной части землетрясения увеличение температуры подземных вод отмечено в скважинах с.с. Кош-Агач, Мухор-Тархата, Курай, Жана-Аул, Таланта. Разница температуры до и после ЗМ составляла 1°-2°.

На 13 родниках, на которых осуществляются наблюдения за температурным режимом, динамика имела тенденцию к росту температур на 0,4-1,0 °С при вариациях от 2,5<sup>0</sup> до 13<sup>0</sup> С (амплитуда 1,5-7,2<sup>0</sup> С).

Наиболее высокая температура устанавливается в подземных водах гранитов турочакского комплекса (13<sup>0</sup> С).

Гидрогеохимическими предвестниками ЗМ являются изменения ионно-солевого состава подземных вод. Динамика вод, как правило, устанавливается на значительных расстояниях от эпицентра ЗМ (до сотни км и более в зависимости от магнитуды ЗМ) [3].

В июле 2003 г. (за два месяца до ЗМ) в рамках ГМПВ ТЦ "Алтайгеомониторинг" проведен отбор проб подземных вод из родников и скважин в эпицентральной зоне ЗМ. Опробованы водопункты каптирующие весьма широкий спектр подземных вод - от современных четвертичных до протерозойских.

Гидрохимический состав вод до ЗМ в целом изменился - "разбавился" относительно фонового в этот период года. Уменьшились концентрации практически всех макрокомпонентов за



исключением кальция и магния, количество которых увеличилось (1.1-1.2 раза). Возросла величина pH (до 1.2 раза), аммония до (15 раз), минерализация в целом уменьшилась.

По-видимому величина pH является одним из наиболее ранних предвестников ЗМ. Рост pH (от 9.1 до 9.4) установлен за год до первого толчка в водопунктах с.с. Кош-Агач, Ортолык, Теленгит-Сортогай, Мужор-Тархаты.

Особенность всех опробованных после ЗМ подземных вод - наличие высокой цветности (62.0-117°), значительная мутность (4.3-72 мг/дм<sup>3</sup>) и низкая прозрачность (6-26 см). Динамика гидрохимического состава вод после офтершоков в целом характеризуется тенденцией к "восстановлению" до фонового состояния (по щелочам, хлоридам, сульфатам, гидрокарбонатам). На ряде же водопунктах, особенно в очаге ЗМ (30 км) произошло усложнение состава вод и образовались "положительных" аномалий по щелочам (до 5 фонов), сульфатам (до 1.8 фона), хлоридам (до 15 фонов), фтору (до 7 фонов), окиси кремния (до 1.5 фона). Величина pH в подземных водах либо несущественно уменьшилась, либо сохранилась такой же в очаге ЗМ (через две недели после первого толчка).

В результате образования трещин и выбросов вод "очистились" грунтовые воды в долине р. Чуи, в частности в п. Чаган-Узун в индивидуальных колонках после землетрясения уменьшились по сравнению с фоновыми концентрации таких загрязнителей как хлориды, сульфаты, нитраты до 8 раз; щелочи до 6 раз.

Практически во всех проанализированных пробах подземных вод с района ЗМ, устанавливаются повышение и высокие (в сравнении с фоновыми) концентрации фтора (до 7 раз), алюминия (до 10 раз), железа (до 3 раз), марганца (до 2 раз), лития (до 1.5 раз).

Гидрохимический состав многочисленных излияний водных и водно-грязевых масс, которые в отдельных случаях образовали озера и временные источники хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатный со смешанным катионным составом (магниево-натриево-кальциевый) с минерализацией 0.48 мг/дм<sup>3</sup>. Состав излившихся подземных вод сопоставляется с таковым вод родников, через которые в правом борту р. Талтуры разгружаются воды зон трещиноватости терригенных пород кзылшинской свиты среднего девона, условно соленосных. В приустьевой части р. Талтуры в выбросах водно-разжиженных суспензий, суплинков, грязей присутствуют бурые угли и углестые сланцы. Это свидетельствует о значительной глубине выброшенного материала и мерзлотных вод неогенового возраста.

Существенно изменился после ЗМ гидрохимический состав поверхностных вод в районе ЗМ. В частности первично гидрокарбонатные воды р. Чаган в районе с. Бельтир в первые дни после ЗМ приобрели сульфатно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый состав; воды р. Черной (в районе с. Кош-Агач) хлоридно-гидрокарбонатный магниево-кальциево-натриевый состав и повышенную минерализацию (до 0.51 г/дм<sup>3</sup>). Также как и в подземных водах, в поверхностных водах установлены высокие значения величины pH; в реке Чаган-Узун в с. Бельтир (8.9-9.0 до и после ЗМ), в реке Чун у Красной горки (pH и 8.3 соответственно до и после ЗМ). Поверхностные воды характеризовались наличием аномальных концентраций взвешенных веществ (до 115 мг/дм<sup>3</sup>).

В заключении отметим, Изменение гидрогеологических условий в целом в пределах Алтас-Саянского бассейна жильно - блоковых вод, и особенно в Чуйском и Уймонском артезианских бассейнах однозначно связано с Чуйским землетрясением в периодом подготовки его.

#### Литература

1. Гончаров В.С., Потемка Э.П. Фрагмент гидрогеодеформационного мониторинга в пределах центрального сегмента Северного Кавказа. В сб. Геологическое изучение и использование недр. - М: Геонформмарк, 2001. с. 8-20
2. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды в Республике Алтай в 2002г. - с. Майма, ОФ ОАО "Алтай-Гео", 2003
3. Основи гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах. - Новосибирск: Наука, 1982. с. 57-74

**Горно-Алтайский государственный университет, г. Горно-Алтайск**

Как известно, живая и неживая (неорганическая) материя представляют собой довольно сложный конгломерат химических соединений от самых простых до суперорганизованных наномолекул. Любое значительное изменение внешних условий, сопровождающееся прямым, высокоимпульсным воздействием на материю (тепловое, электромагнитное, механическое и др.) неизбежно приводит к деформации динамического равновесия химических соединений, разрыву связей, образованию новых структур и веществ.

Особенно чувствительны к такому воздействию поверхностные и подземные воды районов сейсмической неустойчивости. В результате разогревания мантии в астеносфере, изменений магнитного поля, таяния вечной мерзлоты и подъема глубинных подземных вод к поверхности Земли химический состав водных источников может меняться тем значительнее, чем интенсивнее внешнее воздействие.

В настоящее время необходимо изучение гидрохимических, гидрологических и геохимических исследований в районах повышенной сейсмической активности на территории Республики Алтай:

- изучение характера изменения химического состава воды, почвы, растительности вследствие землетрясения и организация мониторинга этих изменений;

- поиск химических маркеров, предвестников землетрясения, и связанных с ними изменений в различных объектах окружающей среды (гидросфера, биосфера);

В процессе многолетних мониторинговых наблюдений химического состава и гидрохимического режима поверхностных и подземных вод Кош-Агачского и Улаганского районов была досконально изучена биогеохимическая специфика основного химического состава как подземных, так и поверхностных вод этой территории.

Высокогорные источники Кош-Агачского района (Бугузун, Кам-Тытыгем и ряд других источников) располагаются в нерасчленённых отложениях нижнего и среднего отделов кембрия, и с более древними образованиями нижнего кембрия имеют контакты по тектоническим нарушениям. Разрез ниже-среднекембрийских отложений отмечается в тектонических блоках южной части территории района, в бассейнах рек Бугузун, Тытыгем, Кокури и др.:

- белые, светло-серые мраморизованные известняки;
- тонкополосчатые серицито-хлорито-кварцевые сланцы;
- мраморизованные известняки;
- сланцы по эффузивам среднего состава;
- слоистые известняки в кровле и подошве, переслаивающиеся со сланцами;
- альбидо-эпитодо-хлоритовые сланцы по туфам среднего и основного состава, серицитовые сланцы, покровы метаморфизованных ортофиоров, кератофиоров, дацитовых порфиоров и др. Все вышеперечисленные породы, естественно, влияют на химический состав воды источников этого региона.

Рельеф территории очень сложен. Например, только в южной части отмечается 10 форм и рельефов от денудационно-эрозионной (палеогенового возраста) поверхности выравнивания до ледниково-аккумулятивного современного рельефа.

Сложность рельефа обусловлена историей геологического развития, литологическим составом горных пород и амплитудой современных и древних тектонических движений.

За многолетний период наблюдений (с 1990 г.) установлено, что большинство подземных вод региона являются гидрокарбонатно-кальциево-магниевыми или гидрокарбонатно-магниевыми с минерализацией в пределах 0,02-0,25 мг/дм<sup>3</sup>, с *pH* от 7,0 до 8,4 ед. Здесь же имеется ряд источников, имеющих гидрокарбонатно-натриевый состав с повышенным содержанием хлоридов до 310,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Содержание сульфатов в исследованных подземных водах в среднем составляет 2,0-9,5 мг/дм<sup>3</sup>. Исключение составляют источники с высокой минерализацией, в которых содержание хлоридов и сульфатов достигает более высоких значений (Чаган-Узунский, Джегитай и др.)

В районе, прилегающем к эпицентру, расположен родник, вода которого в период исследований до землетрясения являлась хлоридно-натриево-кальциевой с содержанием сульфатов 8,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Поверхностные воды региона также являются гидрокарбонатно-кальциево-магниевыми с низким содержанием сульфатов, в среднем до 8,5 мг/дм<sup>3</sup>, и хлоридов до 4,8 мг/дм<sup>3</sup>, с *pH* в среднем 8,2-8,5 ед.

Летом 2003 г. был отмечен факт резкого изменения химического состава как подземных, так и поверхностных вод в районе: заметно увеличилось (в 2,0-2,7 раза) содержание сульфатов и снизилось содержание хлоридов в подземных и поверхностных водах.

Некоторые воды (как поверхностные, так и подземные воды) приобрели запах сероводорода, и в них обнаруживались сульфид-ионы.

Исследованиями, проведёнными в период после землетрясения, установлено следующее:

- резкое увеличение сульфатов в подземных водах до 120,07 мг/дм<sup>3</sup> (родник, п. Ортолык), в поверхностных: от 38,4 мг/дм<sup>3</sup> (р. Чаган-Узун, ранее 9,1 мг/дм<sup>3</sup>) - до 57,63 мг/дм<sup>3</sup> (р. Актру, ранее 4,5 мг/дм<sup>3</sup>);

- особенно большое количество сульфатов найдено в воде, вышедшей на поверхность в результате землетрясения: от 120,07 мг/дм<sup>3</sup> (п. Ортолык) до 206,5 мг/дм<sup>3</sup> (п. Бельтир);

- уменьшилось содержание хлоридов в среднем по исследованному району в 10-20 раз: 0,17 мг/дм<sup>3</sup> (оз. Сгыроккель, п. Бельтир) против 2,5 мг/дм<sup>3</sup> и 0,24 мг/дм<sup>3</sup> (р. Чуя) против 4,8 мг/дм<sup>3</sup>;

- понизилось значение *pH* поверхностной воды в среднем на 1 ед. *pH*, до 5,7 (среднее) против 8,2 (среднее).

Изменение химического состава воды, особенно её закисление,

губительно сказывается на гидробионтах. Известно, что при *pH* 5,5 гибнут такие виды рыб как сиг, хариус, а при *pH* 5,0 - окунь, щука. Понижение *pH* в поверхностных водах, по-видимому, послужило причиной миграции рыбы из районов бедствия. Этому могло способствовать и увеличение сульфатов в воде рыбохозяйственных водоёмов (ПДК - 100 мг/дм<sup>3</sup>).

Анализ наблюдений по всем показателям, характеризующим подземные и поверхностные воды в районе исследования были зафиксированы изменение химического состава. Перед и после землетрясения происходили колебания концентрации сульфатов, гидрокарбонатов и двуокиси углерода и величины *pH* амплитуда которых выходила за пределы фоновых значений.

**Изменение дебита и химического состава воды родников в  
окрестностях с. Ортолык  
до и после землетрясения 27.09.03**

Родник	Май 2003		Август 2003		октябрь 2003	
	Дебит , л/сек	Химический состав, мг/%	Дебит , л/сек	Химический состав, мг/%	Дебит, л/сек	Химический состав, мг/%
8,0 км СВ п. Ортолык, ур. Чичкетерек	0,1	Cl 60 HCO <sub>3</sub> 34 SO <sub>4</sub> 6 M <sub>0,10</sub> ..... рН 7,2 Ca 40 Na 28 Mg 26	0,5	HCO <sub>3</sub> 43 Cl 40 SO <sub>4</sub> 17 M <sub>0,30</sub> ..... рН 7,5 Ca 35 Na 32 Mg 21	0,5	HCO <sub>3</sub> 67 SO <sub>4</sub> 22 Cl 11 M <sub>0,34</sub> ..... рН 8,2 Ca 42 Na 39 Mg 19
9,3 км СВ п. Ортолык, долина р. Тотуген	2,6	Cl 59 HCO <sub>3</sub> 38 SO <sub>4</sub> 3 M <sub>0,35</sub> ..... рН 6,1 Na 67 Mg 20 Ca 13	2,9	HCO <sub>3</sub> 54 Cl 35 SO <sub>4</sub> 11 M <sub>0,40</sub> ..... рН 7,0 Na 55 Ca 25 Mg 19	2,05	HCO <sub>3</sub> 60 SO <sub>4</sub> 23 Cl 17 M <sub>0,44</sub> ..... рН 8,3 Na 48 Ca 42 Mg 10
7,5 км СВ п. Ортолык, ур. Джаган-Терек	0,1	HCO <sub>3</sub> 87 SO <sub>4</sub> 7 Cl 6 M <sub>0,25</sub> ..... рН 6,9 Ca 62 Mg 26 Na 11 присут. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , свобод. CO <sub>2</sub> св. 52,0 мг/дм <sup>3</sup>	0,8	HCO <sub>3</sub> 74 SO <sub>4</sub> 20 Cl 6 M <sub>0,30</sub> ..... рН 7,5 Ca 60 Mg 24 Na 16 свобод. CO <sub>2</sub> св. 97,9 мг/дм <sup>3</sup>	0,35	HCO <sub>3</sub> 77 SO <sub>4</sub> 19 Cl 4 M <sub>0,33</sub> ..... рН 8,4 Ca 58 Mg 23 Na 19 свобод. CO <sub>2</sub> св. 48,4 мг/дм <sup>3</sup>
9,5 км СВ п. Ортолык, правый борт р. Чуя	0,7	Cl 62 HCO <sub>3</sub> 34 SO <sub>4</sub> 4 M <sub>0,38</sub> ..... рН 7,2 Na 57 Ca 22 Mg 21	1,35	Cl 50 HCO <sub>3</sub> 38 SO <sub>4</sub> 12 M <sub>0,38</sub> ..... рН 7,9 Na 49 Ca 38 Mg 13	0,9	HCO <sub>3</sub> 66 SO <sub>4</sub> 24 Cl 10 M <sub>0,41</sub> ..... рН 8,5 Ca 49 Na 44 Mg 7

## Открытое акционерное общество "Геологическое предприятие "Алтай-Гео", ТЦ "Алтайгеомониторинг"

В рамках государственного мониторинга экзогенных геологических процессов (ГМ ЭГП) на территории Республики Алтай в 2001г. был организован Чуйский наблюдательный участок площадью около 150 км<sup>2</sup>. Его контуры пространственно приурочены к району площадного развития современных оползневых процессов и оползневых склонов в долине р. Чуя, включая предгорья Курайского хребта и Сукорский выступ. В административном отношении - это участок между селами Чаган-Узун и Ортолык Кош-Агачского района. Критериями выбора этой территории в качестве наблюдательного участка послужили следующие параметры: высокая активность оползневых процессов, как в современное время, так и в голоцене; приуроченность данной территории к Чуйской сейсмоактивной зоне; активизация древних оползневых структур в последние пять лет. Систематические наблюдения за оползневыми процессами на Чуйском участке проводились сотрудниками ТЦ "Алтайгеомониторинг" в течение 2001-2003гг., однако, местные жители отмечают активизацию оползнеобразования с 1998г. По их свидетельству, признаки активности выразились в образовании новых оползневых структур и активизации древних массивов, на которых чабаны наблюдали заметные смещения языковых частей оползней и новые трещины.

Геологические факторы оползнеобразования. Геологические факторы по уровню изменчивости подразделяются на постоянные факторы (геологическое строение, тектоника, рельеф), контролирующие интенсивность и генетические особенности ЭГП, медленно изменяющиеся факторы (гидрогеологические и геокриологические условия местности), характеризующие тенденции развития ЭГП, и быстроизменяющиеся (сейсмическая активность), обуславливающие режим активности ЭГП. Роль каждого из факторов весьма значительна и контролирует важные параметры оползневых процессов.

Тектонический и сейсмический факторы. Участок приурочен к зоне развития Курайского тектонического шва, который многими исследователями относится к сейсмоактивным разрывным структурам, контролирующим неотектонические условия Юго-Восточного Алтая, и, в частности, Чуйской сейсмоактивной зоны. По уровню сейсмичности территория Юго-Восточного Алтая относится к сейсмоопасным территориям (9-10 баллов по шкале Рихтера), что подтверждается наличием вторичных гравитационных сейсмодислокаций голоценового возраста в данном регионе. В пределах Чуйского наблюдательного участка развитие оползней выражено линейными зонами, пространственно приуроченными к Курайскому тектоническому шву, к структурно-тектоническому уступу, обусловленному гипербазитовым выступом, и к зоне прогиба в Сукорском горсте. Все линейные зоны имеют ориентировку 120-300, совпадающую с ориентировкой Курайской зоны разломов. Примечательно, что западная и восточная граница Чуйского наблюдательного участка, оконтуренного нами, практически совпадают с выделенным Платоновой С.Г. по данным повторного нивелирования активным тектоническим блоком, соответствующим в пространственном отношении Сукорскому (Чаган-Узунскому) горсту (в административном отношении - участок от с. Чаган-Узун до с. Ортолык). В пределах этого блока в течение 1978-1993 гг. наблюдались самые высокие скорости вертикальных движений, значения которых составляли 7,84-8,0 мм/год. Для блока характерна высокая сейсмическая активность как на современном этапе (эпицентры землетрясений 1960г. и 1988г. с магнитудой 4.0), так и в течение позднего плейстоцена и голоцена [2].

Литологический фактор. Оползневые структуры приурочены, как правило, к покровному полигенетическому комплексу четвертичного возраста, либо к осадкам палеоген-неогенового

и неогенового возраста. В большинстве крупных оползневых структур вторым деформирующимся горизонтом выступают осадки кош-агачской свиты, обнажающиеся в тектонических блоках, либо скрытые под чехлом покровного комплекса. Глубина захвата деформирующихся горизонтов различна, однако показателен тот факт, что подавляющее большинство оползней, образованных в последние 5 лет, характеризуются незначительными глубинами до 1-3 м. При этом отмечаются валы и блоки выдавливания, вскрывающие отложения палеоген-неогенового возраста.

**Геоморфологический фактор.** Участок расположен на западной окраине Чуйской высокогорной впадины, охватывающей аккумулятивные и аккумулятивно-денудационные борта долины р. Чуя, включая предгорья Курайского хребта и Сукорского выступа в абсолютных высотах 1700-2500 м. Крутизна склонов является одним из определяющих факторов развития оползневых процессов. На крутых склонах (свыше  $20^{\circ}$ ) развито 48 % оползневых массивов, на склонах средней крутизны ( $10-20^{\circ}$ ) - 29 % и на пологих склонах (менее  $10^{\circ}$ ) - 23 % оползней.

**Гидрогеологический фактор.** В значительной части оползневых массивов отмечается приуроченность некоторых элементов оползней к областям разгрузки грунтовых вод в виде родников или мочажинно-озеркового заболачивания. В свою очередь, выходы грунтовых вод контролируются тектоническими условиями района, что подтверждается их расположением в подошвах тектонических уступов. Нередко водопроявления наблюдаются в виде пятен и потоков текучих и текучепластичных суглинков в понижениях оползневого рельефа, в том числе на дне глубоких трещин растяжения. Такие водопроявления, как правило, имеют геокриологическую природу и связаны с границей оттаивания деятельного, или сезонно-талого слоя (СТС).

**Геокриологический фактор.** Территория Чуйской высокогорной впадины относится к зоне распространения вечномерзлых грунтов. Многолетняя мерзлота в пределах наблюдательного участка развита повсеместно, но в пределах предгорий она характеризуется сплошным развитием, а в долине р. Чуя и ее притоков - прерывистым развитием с наличием многочисленных таликовых зон. Установленная мощность многолетнемерзлых пород в пределах участка 60 м (с. Чаган-Узун). Кровля вечномерзлых грунтов находится в 3-12 м от дневной поверхности, минимальная глубина сезонного промерзания рыхлых грунтов - 1-4 м. Тот факт, что в большинстве структур в движение вовлечен рыхлый покров мощностью 1-3 м, т.е. породы деятельного слоя (породы СТС), говорит о том, что геокриологический фактор определяет глубину современного оползневого процесса.

**Активизация оползневых процессов.** Обобщение полевых материалов и ретроспективный анализ аэрофотоснимков показали в пределах Чуйского участка необычную активизацию процессов оползнеобразования в последние пять лет. В полевые сезоны 2001-2003гг. было зафиксировано и описано 80 оползневых массивов, из них 48 оползней образовалось 1-5 лет назад, 12 - в условно историческое время (10-100 лет назад), 20 - в позднем голоцене. Оползневые структуры по уровню активизации условно подразделяются на две группы: новообразованные оползни и оползневые массивы, испытывающие активизацию на современном этапе.

**Активизация древних оползневых структур.** Из 32 исторических и древних оползней 20 являются стабильными структурами, остальные испытывают активизацию в той или иной степени. Основные признаки активизации древних оползней выражены в образовании трещинных деформаций по границам и во внутренних частях оползневых массивов, а также вне оползневых тел выше по склону. По типам деформаций преобладают: трещины растяжения с опусканием и поднятием блоков; трещины растяжения и сдвига с опусканием блоков; трещины сдвига с горизонтальным смещением и опусканием; трещины сдвига и сжатия с поднятием блоков; трещины сжатия с выдавливанием пород; рвы растяжения и опускания. Параметры трещин различны: ширина раскрытия трещин - 0,05-1 м, глубина -

0,1-2,2 м, длина - 1-50 м. Рвы растяжения имеют ширину раскрытия 2-7 м и глубину 1-2 м. Ориентировка большинства трещинных деформаций совпадает с генеральным направлением Курайского тектонического шва ( $120-300^{\circ}$ ), либо перпендикулярна ему. Особым видом активизации древних структур можно назвать образование в пределах них новых, как правило, меньших по размерам, оползней.

Новообразованные оползни имеют распространение не только в пределах древних оползневых структур, но и вне их, на склонах различной крутизны. Весьма показательным фактом в оценке причин образования и активизации оползней является типизация молодых (образованных 1-5 лет назад) оползневых структур по механизму смещения, геологическим условиям их зарождения и морфологии. Анализ полевых материалов показал следующие закономерности в образовании молодых оползней:

- \* приуроченность новых оползней к неотектоническим структурам Курайско-Саянской шовной зоны, что подтверждается линейным расположением новообразованных оползней и трещинных деформаций в активизировавшихся оползневых массивах;

- \* основной деформирующийся горизонт молодых оползней - полигенетический покровный комплекс (дресвяные и гравийные грунты с суглинистым заполнителем), реже в процесс оползания (чаще - выдавливания) включаются и нижележащие горизонты палеоген-неогеновых пород;

- \* в большинстве структур в движение вовлечен рыхлый покров мощностью 1-3 м, т.е. породы деятельного слоя (породы СТС);

- \* унаследованный характер образования новых оползней в пространственном отношении, по механизмам образования и морфологии тел при значительном уменьшении размеров оползневых объектов;

- \* образование оползней на крутых склонах (свыше  $20^{\circ}$ ) - 44 %, на склонах средней крутизны ( $10-20^{\circ}$ ) - 29 % и на пологих склонах (менее  $10^{\circ}$ ) - 27 %, причем почти все оползни на пологих склонах сосредоточены в южной части участка;

- \* образование большинства молодых оползней плоским скольжением рыхлых наносов (75 %), незначительной части оползней - блоковым сдвигом, течением и сочетанием нескольких механизмов (13 %, 2 % и 10 % соответственно);

- \* преобладание по морфологии как по комплексному признаку среди молодых оползней циркообразных (эллипсоидных) - (71 %) при незначительном развитии глетчерообразных (19 %), фронтальных (6 %) и сложной формы (4 %);

- \* преобладание по размерам оползневых массивов мелких ( $1000-10000 \text{ м}^2$ ) - 75 %; средних ( $10000-100000 \text{ м}^2$ ) и очень мелких (менее  $1000 \text{ м}^2$ ) оползней по 12,5 %.

Основные закономерности активизации древних структур и образования новых оползней свидетельствуют о доминирующей роли в этих процессах тектонического, сейсмического и геокриологического факторов. Если первые два фактора определяют пространственное расположение, интенсивность проявлений и активизацию оползневых процессов в последние годы, то последний фактор контролирует глубину захвата горных пород в оползневый процесс. Остальные геологические факторы играют рецессивную роль в оползневом процессе и обуславливают разнообразие структур по механизму развития, морфологии и размерам.

Предвестники землетрясений. Активизацию оползневых процессов в Чуйской сейсмоактивной зоне в течение последних пяти лет можно рассматривать как косвенный признак увеличения сейсмической активности региона и, в какой-то степени, считать предвестником произошедшего 27 сентября 2003г. Алтайского землетрясения.

Во-первых, активизация оползневых процессов отмечается с 1996-1998 гг., что достаточно точно совпадает с началом активизации сейсмической активности в регионе. За короткий период наблюдений на участке обобщения (2001-2003гг.), максимальная активизация оползневых процессов, определяемая визуально по внешнему облику оползневых деформаций ("свежесть" трещинных деформаций), наблюдалась нами в сентябре 2002г. Именно в этот

период сейсмологами зафиксирована активизация сейсмических событий в пределах Курайского хребта [1]. При обследовании оползней в 2003г. нами визуально отмечено некоторое затухание процессов по следующим признакам. Некоторые оползни, образованные в период 2001-2002гг., имеют сглаженные формы оползневого рельефа, отдельные трещины частично перекрыты рыхлым материалом, бровки уступов потеряли "свежесть". Но, по данным сейсмических станций, в 2003г. вплоть до главного сейсмического толчка в регионе наблюдается сейсмическое затишье.

Чуйский наблюдательный участок оказался в зоне наибольшего сейсмического воздействия, в 25-50 км от эпицентра. При оперативном обследовании сейсмогенных деформаций поверхности в эпицентральной зоне радиусом до 50 км было осмотрено пять оползней в пределах Чуйского участка, приуроченных к основным тектоническим структурам, контролирующим сейсмическую обстановку в регионе: оползни № 2,3,4, приуроченные к Курайскому разлому и оползни № 35,36, расположенные в зоне протерозойского гипербазитового выступа. Предыдущее обследование Чуйского участка проводилось в августе 2003г., практически за месяц до землетрясения.

Оползень №2. На древнем (голоцен) оползне № 2 (одном из самых крупных по размерам - площадью 1,2 км<sup>2</sup>) отмечаются свежие трещинные и оползневые деформации на западном участке языка, до этого времени считавшемся стабильным блоком оползня, совершенно лишенным деформаций на протяжении всего периода наблюдений (2001-2003гг.). В результате сейсмических событий в языке оползня появились нитевидные, но протяженные трещины растяжения и зоны проседания шириной до 7 м, а по бортам оврага во фронтальном уступе оползня образовались мелкие блоковые оползни. Восточная часть древнего оползневого языка на протяжении всего периода наблюдений отмечалась активизацией, выраженной в медленном формировании в теле древнего оползня фронтального (современного) оползневого массива с протяженными трещинными зонами проседания, причем зона активизации со временем постоянно увеличивалась. При визуальном осмотре оползневых деформаций отмечено расширение трещин, образование новых разрывов и оползание восточной части языка на русло временного водотока и его перекрытие. Связь этого оползания с сейсмическими толчками очевидна, ибо временный водоток ежегодно собирает талые и ливневые воды, и, следовательно, имеет промытое русло стока. Амплитуда оползания составила 1-2 м. Свежесть деформаций подтверждается и крутым фронтальным уступом со следами свежего пересыпания рыхлого материала.

Оползни № 3,4. На современном, образованном в 2001г. оползне № 3 отмечаются свежие трещинные деформации и активное осыпание рыхлого материала на крутых участках надоползневого уступа и в бортах рвов, а также просадки и оползания блоков по трещинам растяжения. На древнем, но в течение последних 2-х лет активизировавшемся оползне № 4 отмечено оползание языка, что подтверждается зеркалами скольжения на подошве языка (азимут падения 120° и 210°, угол падения 10-25°), мелким осыпанием аструктурных глыб во фронтальном уступе. Следует отметить, что направления зеркал скольжения близки к генеральному простираению Курайского разлома, либо перпендикулярны ему.

Оползни № 35, 36. На оползнях № 35, 36, имевших признаки активизации в период наблюдений 2001-2003гг., отмечены свежие трещинные деформации, приуроченные, как правило, к ранее активизированным зонам, а также слабое оползание отдельных блоков по трещинам растяжения. На оползне № 35 в момент обследования среди полностью покрытых льдом озерков и мочажин в присклоновой западине зафиксировано одно озеро без ледового покрова, а на берегу мелкие грифоны. Этот факт, скорее всего, фиксирует активное участие в питании озера грунтовых напорных вод, и интересен, в первую очередь, тем, что выходы напорных вод появились после землетрясения и приурочены к участку аккумулятивного склона, расположенного относительно поймы р. Чуя более чем на 100 м выше.

Весьма примечательно, что сейсмогенные деформации, возникшие на обследованных



оползнях после землетрясения, по своим параметрам и внешнему виду практически не отличаются от разрывных деформаций, наблюдаемых на Чуйском участке ранее, в период 2001-2003гг. При этом, большинство новых (сейсмогенных) деформаций имеют унаследованный характер и образовались на ранее активизировавшихся элементах оползней, расширив их.

Алтайское землетрясение подтвердило связь активизации оползневых процессов с возрастающей сейсмической активностью территории Юго-Восточного Алтая. Оползневые структуры в сейсмоактивной зоне являются наиболее чувствительными структурными элементами экзогенного рельефа и практически мгновенно реагируют на изменение глубинного состояния недр. Этот факт позволяет говорить о возможности пространственного прогноза сейсмической активизации территории на основе мониторинга экзогенных геологических процессов, и, в частности, на основе систематических наблюдений за оползневыми процессами.

#### Литература

1. Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф. и др. Чуйское землетрясение и его афтершоки.
2. Рогожин Е.А., Платонова С.Г. Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. Российская академия наук. Институт физики Земли им. Г.А. Гамбурцева -М: 2002

# РАЗВИТИЕ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2003Г.

*М.С. Достовалова*

Открытое акционерное общество "Геологическое предприятие "Алтай-Гео", ТЦ  
"Алтайгеомониторинг"

Группа территориального центра "Алтайгеомониторинг" в период с 1 по 9 октября обследовала населенные пункты и хозяйственные объекты Кош-Агачского района, испытавшие землетрясение 27 сентября - 1 октября 2003г. Основная цель поездки заключалась в оценке влияния сейсмогенных деформаций на селитебные зоны и хозяйственные объекты и прогнозе развития опасных геологических процессов, вызванных деформациями поверхности. Обследованием были охвачены территории населенных пунктов и их окрестности, удаленные от эпицентра основного сейсмического толчка на расстояние 10-60 км.

В эпицентральной зоне Алтайского землетрясения 27.09-1.10.03г. в результате сейсмогенных деформаций горных пород в приповерхностном слое сформировалось новое неустойчивое состояние геологической среды. Основные депонирующие среды, испытавшие деформации, представлены породами зоны аэрации, поверхностными и подземными водами, почвенным покровом. Внешне это проявилось в образовании деформаций и в развитии явлений, перечень которых приведен ниже:

- \* многочисленные трещины, как открытые на поверхности, так и скрытые;
- \* многочисленные рвы, образованные по трещинам с проседанием центральных частей;
- \* просадки поверхности различной конфигурации - от линейных до округлых форм;
- \* бугры выдавливания, перемежающиеся с зонами опускания;
- \* кратковременные напорные источники подземных вод по трещинным и воронкообразным деформациям;
- \* изменение режима поверхностных и подземных вод;
- \* кратковременное изменение органолептических свойств подземных и поверхностных вод;
- \* изменение качественного состава природных вод.

Развитие сейсмодислокаций в эпицентральной зоне обусловлено, в первую очередь, геологическими факторами среды - тектоническими, литологическими, гидрогеологическими и геокриологическими особенностями территории.

Характеристика эпицентральной зоны Алтайского землетрясения. Эпицентральная зона Алтайского землетрясения в пространственном отношении приурочена к Чуйской сейсмоактивной зоне, выделенной Платоновой С.Г. по результатам картирования палеосейсмодислокаций голоценового возраста. Основными структурными элементами, контролирующими пространственное распределение эпицентров древних землетрясений в пределах Чуйской сейсмоактивной зоны, по мнению большинства исследователей, являются активизированные на современном этапе зоны глубинных разломов разного ранга широтной и северо-западной ориентировки. Повышенная сейсмичность характерна, как правило, на участках сближения или пересечения (сопряжения) с глубинными разломами иной ориентировки [3].

Произошедшее 27 сентября 2003г. в Юго-Востоке Алтае уникальное землетрясение с магнитудой 7,5, получило название в научной публицистике Алтайское (по другим источникам - Чуйское). Пространственный анализ сейсмодислокаций первичного и вторичного характера показывает четкую приуроченность их к двум крупным разломам - восточной ветви Чарышско-Теректинского разлома (аз. 70-250°) и к его опережающему, условно названному нами Северо-Чуйскому разлому (аз. 120-300°), который достаточно уверенно выделяется по

геофизическим данным. Наиболее разрушительные сейсмогенные деформации поверхности согласно картированию спутниковыми приемниками средней точности находятся в пределах линейной зоны, соответствующей Северо-Чуйскому разлому на участке его сопряжения с Чарышско-Теректинским разломом. Фрагменты этой зоны деформаций визуально фиксируются разнообразными катастрофическими деформациями поверхности, трассируя тектоническую зону с азимутом простирания 120-300 протяженностью до 15 км. В урочище Узюк С.Г. Платоновой обследована серия сейсмогенных рвов глубиной 10-15 м [3]. Сотрудниками ТЦ "Алтайгеомониторинг" на высокой флювиогляциальной террасе (левый борт р. Талтура) зафиксирована серия из пяти сейсморов глубиной до 8,5 м (аз. прост. зоны 170°-350°). В непосредственной близости от сейсморов наблюдались высокодебитные восходящие родники с повышенной минерализацией вод (до 1,2-5,04 г/дм<sup>3</sup>), возникшие после землетрясения. Здесь же образован обвальный конус выноса. Гигантский сейсмооползень возник в левом борту р. Талтура, в точке сопряжения двух сейсмоактивных разломов - Северо-Чуйского и Чарышско-Теректинского, при землетрясении была смещена часть склона объемом около 20 млн. м<sup>3</sup>. В пойме р. Чаган по левому борту наблюдалась серия протяженных сейсморов с азимутом простирания 170°-350°. Глубина рвов достигает 2 м, но, скорее всего, она была значительно больше, а на момент обследования дно рвов было заполнено водно-глинистым раствором, уровень которого соответствовал уровню грунтовых вод в пойме реки. По правому борту р. Чаган зафиксированы конуса выноса гигантских грифонов с высотой фонтанов 5 м, выбрасывающих на поверхность не только песчано-глинистые осадки, но и гравийно-крупногалечный материал. Сотрудниками ГАГУ обследованы в междуречье Чаган - Елашгаш глубокие, до 10 м, сейсморвы с ориентировкой, близкой к простиранию рвов в долине рек Талтура и Чаган. Таким образом, линейная зона сейсмогенных деформаций подтверждена на отрезке в 15 км.

Таблица 1

Распределение трещиновых деформаций поверхности по румбам

№ п/п	Наименование объекта	Удаленность от эпицентра	Распределение деформаций по румбам (N)					Сейсмогенные деформации	
			0-30 (180-210)	30-60 (210-240)	60-90 (240-270)	90-120 (270-300)	120-150 (300-330)		150-180 (330-360)
<b>Обследованные населенные пункты и объекты</b>									
1	Бельгир	13 км В	8	4	3	6	6	13	СР, Оп, СТ, Ф, НИ
2	Ортолык	35 км СВ	2	-	5	21	3	-	СР, СТ, Ф, НИ
3	Кош-Агач	45 км В	4	2	6	8	3	3	СТ, НИ
4	Чаган-Узун	28 км СВ	-	1	1	-	8	-	СТ, НИ
5	Джазгатор	50 км ЮЗ	4	3	2	4	2	6	СТ, Ф, НИ
6	Курай	28 км С	-	1	2	-	3	8	СТ, НИ
7	Чуйский участок	25-50 км СВ	1	-	4	5	1	-	СТ, НИ, Оп
8	Стойка Актел	65 км В	-	-	-	1	-	-	СТ, Ф, НИ
9	Стойка Тихонова	36 км В	3	-	1	4	6	11	СТ, Ф, НИ
	<b>Всего, N</b>		22	11	24	49	32	41	
	<b>Всего, %</b>		12 %	7 %	13 %	27 %	18 %	23 %	
<b>Оси главных напряжений в эпицентрах</b>									
Азимуты			8-188	-	82-262	95-275	135-315	176-356	
			-	-	68-248	92-272	143-323	175-355	
Число			1		2	2	2	2	
<b>Сейсмогенерирующие разломы</b>									
Чарышско-Теректинский					70-250				
Северо-Чуйский						120-300			

Примечания: СР - сейсморвы, Оп - оползни, СТ - трещины, Ф - фонтанирующие источники, НИ - кратковременные напорные источники

В информационном сообщении на сайте ЦОМЭ ГС РАН кратко изложен механизм очага землетрясения и опубликованы данные о направлениях осей главных напряжений [1]. Следует отметить, что значительное число сеймотектонических дислокаций поверхности в эпицентральной зоне, зафиксированных нами, имеют ориентировку, совпадающую с направлениями осей главных напряжений (табл. 1). Оси главных напряжений в приближенном значении имеют следующие направления:  $90-270^{\circ}$ ,  $140-320^{\circ}$ ,  $175-355^{\circ}$  и  $70-250^{\circ}$ . Из таблицы видно, что в пределах селитебных зон и объектов резко преобладают близкая к субширотной ориентация деформаций, равная направлению  $110-290^{\circ}$  (27%) и субмеридиональная, близкая к направлению  $170-350^{\circ}$  (23%). Широко представлены деформации с азимутом  $140-320^{\circ}$  (18%). Примечательно, что Чарышско-Теректинский и Северо-Чуйский разломы, контролирующие сейсмодислокации, ориентированы по азимуту  $70-250^{\circ}$  и  $120-300^{\circ}$ , что также совпадает или близко к осям главных напряжений.

Землетрясение сопровождалось природными процессами и явлениями, затрагивающими приповерхностные слои горных пород, которые по механизму образования условно подразделяются на две группы - сеймотектонические и сейсмогравитационные. К сеймотектоническим дислокациям относятся всевозможные трещины, разрывы, рвы на поверхности земли, к сейсмогравитационным дислокациям - обвалы, камнепады, оползни. Сейсмодислокации, нередко дополнялись природными явлениями, связанными с деятельностью подземных вод. К ним относятся фонтанирующие источники (грифоны), залповые субнапорные пластовые выходы подземных вод, изменения гидродинамического режима водоносных горизонтов и комплексов, а также открытых водоемов и водотоков, изменения качественного состава природных вод. Алтайское землетрясение по уровню и разнообразию сейсмодислокаций и явлений, связанных с ними - типичное землетрясение с довольно разнообразным комплексом природных процессов, проявленных в эпицентральной зоне радиусом до 50-60 км, редко более.

Параметры сейсмогенных дислокаций, их развитие в пределах участков обследования приведены в таблице 2. Из таблицы видно, что наиболее разнообразные по типам и максимальные по размерам дислокации образовались на территории, удаленной от эпицентра на 7-15 км. Из наиболее характерных сейсмодислокаций, проявленных повсеместно, можно отметить трещины растяжения, залповые излияния по трещинам и воронкам с образованием грязевых озерков. К числу уникальных и редких явлений относятся высокие фонтанирующие источники с конусами выноса, протяженные и глубокие сейсмогенные рвы, гигантский оползень, обвальные конуса с вывалами гигантских глыб размером до  $7*3*3$  м.

Территории населенных пунктов. Наиболее приближенными к эпицентрам сильных сейсмических событий оказались села Бельтир (27.09.2003г.) и Акташ (1.10.2003г.). Именно в этих селах отмечены наибольшие разрушения хозяйственных объектов и жилых домов. Села Мухор-Тархата, Ортолык, Кош-Агач пространственно приурочены к зоне влияния сейсмогенерирующего Чарышско-Теректинского разлома, располагаясь на его восточном фланге. Несмотря на достаточную удаленность от эпицентра главного события (35-50 км), селитебные зоны этих сел имеют многочисленные деформации поверхности и хозяйственных объектов. Село Курай, несмотря на близость к эпицентрам сильных сейсмических толчков, имеет немногочисленные деформации поверхности и хозяйственных объектов, поскольку оказалось вне зоны сейсмогенерирующих разломов. Наиболее удаленные от эпицентров села Ташанта, Жана-Аул и Кокоря практически не имеют деформаций поверхности, однако и в этих селах наблюдаются незначительные деформации хозяйственных объектов, в частности, трещины в домах и частичные разрушения дымоходов и печей. Ниже дается краткая характеристика деформаций поверхности и явлений на территории селитебных зон и хозяйственных объектов, вызванных Алтайским землетрясением.

Село Бельтир, расположенное в 13 км от эпицентра землетрясения, имеет наибольшие разрушения хозяйственных объектов и жилых домов, а спектр и масштаб сейсмогенных деформаций наиболее разнообразен.

Наибольшее развитие трещин отмечено в центральной части села, около стадиона и в приозерном секторе, на левом берегу р. Чаган-Узун. Распространение трещинных деформаций приурочено практически ко всем элементам рельефа, но некоторое преобладание их наблюдается на аллювиальных и флювиогляциальных террасах и в их уступах. Преобладающие направления трещинных деформаций ориентированы по азимутам  $170-350^{\circ}$ ,  $5-185^{\circ}$ ,  $110-290^{\circ}$ ,  $140-320^{\circ}$ . Наиболее протяженные и широкие сейсморвы имеют направление  $50-70^{\circ}$  -  $230-250^{\circ}$ , что соответствует ориентировке восточной ветви Чарышско-Теректинского разлома. Кратковременные излияния водно-грязевых осадков зафиксированы по трещинам с ориентацией  $170-350^{\circ}$  и  $110-290^{\circ}$ .

Водные источники, внезапно возникшие после первых сейсмических толчков, сопровождалась на первом этапе (в течение 1-5 часов) фонтанированием воды с песком высотой до 2 м, а в последующем - спокойным течением с небольшим напором и пульсацией. Следует отметить, что одно из самых крупных по масштабам и времени излияние приурочено к водозаборной скважине, расположенной в центре села. Скважина глубиной 200 м была пробурена в 1978 году, в последнее время не эксплуатировалась. Вокруг скважины грязевые наносы расположены на площади около  $6500 \text{ м}^2$ , причем мощность их достигает в центральной части 0,8 м. В грязевом поле насчитывается до 10 крупных воронок и несколько десятков мелких, из которых били источники в течение 4 суток, периодически возобновляясь после крупных толчков. Крупное грязевое озеро образовалось в районе стадиона, площадь его более 10 тыс.  $\text{м}^2$ . Помимо этого, высокие, до 2 м, фонтаны после первого толчка наблюдались во дворах усадеб на левобережной стороне села, в замкнутых понижениях озерно-ледникового рельефа и в русле реки Чаган-Узун, около моста. Практически все источники на момент обследования были уже закрыты. Лишь в редких случаях из них наблюдалась слабая пульсация воды, иногда с супесчаным материалом. Внезапные выбросы водно-грязевых масс из источников - явление типичное для землетрясений, но, как правило, кратковременное. Примечательно, что на южной окраине села в пойме р. Чаган в грязевых выбросах обнаружены суплинистые осадки темно-серого цвета с примесью углистого вещества. Факт появления в составе водно-грязевых выбросов палеоген-неогеновых отложений кош-агачской свиты говорит о достаточно большой глубине водоносных комплексов, испытывавших сейсмогенные деформации.

Из осведомленных источников по данным ЦСЭН по РА содержание радона в эпицентральных зонах после землетрясения, в частности, на территории с. Бельтир, превышало ПДК в десятки раз. В первые сутки после землетрясения концентрации радона в трещинах достигали 8000-10000 бк/л. Повышенные содержания радона - явление типичное для землетрясений.

Села Ортолык, Чаган-Узун, Кош-Агач, Джазатор, Курай расположены в радиусе 25-50 км от эпицентра землетрясения. Сейсмогенные деформации в этих населенных пунктах проявлены в значительно меньших масштабах и довольно избирательно к элементам рельефа. Наибольшее количество деформаций поверхности наблюдается в низких заболоченных поймах рек Чуя и Джазатор, либо в пролювиальных конусах выноса их притоков.

Ортолык. В пределах территории села наибольшее количество деформаций приурочено к юго-западной части села, расположенной в пределах пролювиального конуса р. Ян-Терек и поймы р. Чуя. Пораженность селитебной зоны составляет около 30 %. по масштабам проявлений сейсмогенных деформаций это село занимает второе место после Бельтира. Образовавшиеся в результате землетрясения трещины имеют ширину 0,1-0,4 м, редко 0,8-1,3 м, глубина достигает 0,6 м, редко до 1 м. Как правило, серии из 3-5 трещин образуют зоны проседания шириной 2-5 м, с опусканием отдельных блоков на 0,1-0,2 м. Значительная часть трещин, расположенных в пойменных понижениях, сопровождалась фонтанирующими и изливающимися источниками водно-грязевых масс, один из которых зафиксирован даже под жилым домом, из-под фундамента и через отдушины. Один из источников, расположенных в пойме р. Чуя, фонтанировал в течение 3 часов, высота фонтана достигала 2 м. Диаметр образовавшейся воронки 11 м, глубина сразу после фонтанирования достигала 1,5 м, мощность наносов составила 0,4 м. Как правило, состав наносов супесчано-суплинистый, редко с включениями гравия, мощность в среднем 0,1-0,2 м.

Развитие сейсмогенных дислокаций в эпицентральной зоне Алтайского землетрясения

Сейсмогенные дислокации	Параметры сейсмогенных дислокаций на участках обследования (положение участков относительно эпицентра 27.09.2003г.)						Ч. участок (25-50 км)		
	Р. Чаян (10-15 км)	Р. Талаура (7-15 км)	с. Бельшир (13-15 км)	с. Ориолик (35 км)	Степная <sup>2</sup> (35 км)	с. Кош-Агач (45 км)		Узун (28 км)	с. Джалгатор (50 км)
Сейсмостектонические дислокации									
Трещины растяжения с опусканием*	+	+	50*2*1 м	50*0,8*1 м	50*0,8*1 м	10*0,2*0,7 м	10*0,5*1 м	10*0,2*1 м	10*0,5*0,3 м
Зоны трещиноватости	-	+	400*50 м	100*20 м	600*40	-	-	-	-
Сейсмогенные рвы	+	+	200*5*2 м	50*3*8,5 м	450*2*1,2 м	-	-	-	-
Зоны проседания	+	+	50*5*0,5 м	50*5*0,2 м	50*5*0,1	-	-	-	-
Сейсмогравитационные дислокации									
Блоки оползневых опусканий в местах	+	+	+	-	-	+	-	г/ рельеф	-
Сейсмогенные оползни	мелкие	20 млн. т	-	-	-	-	-	-	-
Оползни фронтального типа***	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Активизация древних оползней	+++	+	-	-	-	-	++	+	-
Осыпи, камнепады, обвалы	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Процессы с участием природных вод									
Фонтанирующие источники	до 5 м	+	до 2 м	до 2 м	до 0,5 м	-	до 0,5 м	до 0,5 м	до 0,5 м
Воронки проседания	2-8 м	2,5 м	1,5 м	11 м	0,1-0,3 м	-	0,1-0,3 м	0,1-0,3 м	0,1-0,3 м
Кочка высота фонтанир. источников	15-60 м	+	+	+	+	-	+	+	+
Запоровые изливания вод по трещинам	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Запоровые изливания воды из колонок	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Грязевые озера в западных рельефа	в пойме	6000 м <sup>3</sup>	6-10 тыс м <sup>3</sup>	мелкие	мелкие	-	мелкие	мелкие	мелкие
Повышение уровня воды в водотоках	+	+	на 1 м	на 0,5 м	+	+	+	+	+
Повышение уровня воды в водоемах	+	+	на 1-2 м	-	-	-	-	-	-
Увеличение лебита родников	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Состояние водооборных сваяжи	-	-	-	ликвидация	-	-	-	-	авария
Геологические факторы участков	С4	ЧТ	ЧТ	ЧТ	ЧТ	ЧТ	СТ	ДЖ	К
Тектонический фактор	аН+г	аН+г	аН+г	ар+ал	ал	ал	ал	ал	К
Литологический фактор	пойма	пойма	г/ терраса	ар+ал	ал	ал	ал	ал	КЗ
Геоморфологический фактор	пойма	пойма	г/ терраса	ар+ал	ал	ал	ал	ал	КЗ
Геоструктурный фактор	Опозни Северо-Чуйского Хреста	Опозни Северо-Чуйского Хреста	г/ терраса	ар+ал	ал	ал	ал	ал	КЗ
Гидрогеологический фактор	Воды зоны трещиноватости - ВЗТ	Воды зоны трещиноватости - ВЗТ	г/ терраса	ар+ал	ал	ал	ал	ал	КЗ
Гидрологический фактор	зона сплошной мерзлоты - ЗСМ	зона сплошной мерзлоты - ЗСМ	г/ терраса	ар+ал	ал	ал	ал	ал	КЗ

Примечания: Параметры линейных дислокаций даются по максимальной величине в порядке димензия\*высота (м), площадных дислокаций - диаметр или размеры (м). Фундирующих источников - высота фонтанов. СЧ - Северо-Чуйский разлом. ЧТ - Чарышско-Теректинский разлом. СТ - Суворский горст. ДЖ - Джалгаторский разлом. К - Чуйский разлом. жирным шрифтом отмечены сейсмогенерирующие разломы.

\* - стоянка Таловая, расположенная в 2 км западнее с. Мур-Тархата на лев. берегу р. Тархата. \*\* - трещины растяжения, растяжения и сдвига. савига. трещины сжатия с опусканием вступеинных блоков. \*\*\* - потенциальные оползни фронтального типа, развивающиеся по образованным протяженным трещинам на склонах гор

Преобладающее направление трещинных деформаций в с. Ортолык ориентировано по азимуту 110 (100°) - 290 (280°). Это направление близко к генеральному направлению сейсмогенерирующего разлома и к направлениям основных разрывных структур, контролирующих тектоническую обстановку в регионе (азимут совпадает с направлением русла р. Чуя на этом участке).

Кош-Агач. В селитебной зоне деформации поверхности распространены локально на северной и южной окраине села. Как правило, они имеют четкую приуроченность либо к низкой пойме, либо к уступам высокой поймы и озерно-аллювиальной террасы. Пораженность территории составляет менее 10 %, что соответствует таковой и в других удаленных от эпицентра селах (Чаган-Узун, Курай, Джазатор). Как правило, трещины в с. Кош-Агач имеют нитевидный облик, редко достигая ширины 0,3-0,5 м и глубины до 1 м. Преобладающие направления трещинных деформаций ориентированы по азимуту 100 (110°) - 280 (290°), реже - по азимуту 70 -250° и 140 (160°) - 320 (340°). Доминирующее направление соответствует направлению сейсмогенерирующего разлома, а остальные - осям главных напряжений. Более половины трещин сопровождалось кратковременными выходами водно-грязевых источников, образовавших небольшие по площади наносы мощностью до 0,1 м. Деформации горных пород вызвали аварию и последующую ликвидацию водозаборной скважины, в момент землетрясения пробуренную до глубины 70 м в центральной части села.

Чаган-Узун. Распространение трещинных деформаций на территории села наблюдалось весьма локально на юго-западной окраине и в прибрежной зоне р. Чуя. Пораженность селитебной зоны менее 10 %. Трещины, как правило, имеют небольшую протяженность, шириной 0,1-0,2 м и глубиной 0,1-0,2 м, редко до 0,7 м. Преобладающее направление трещин - 170-350, что соответствует азимуту одной из главных осей напряжений. Самоизливающиеся источники наблюдались лишь по трещинам, приуроченным к пойме р. Чуя, в центре села и около моста. В усадьбе по ул. Набережная, 20 излияние воды с песком из трещины азимутом 140 началось после первого сейсмического толчка и продолжалось в течение 2 часов. Помимо этого, на скальных участках Сукорского горста, расположенного на юго-западной окраине села, во время землетрясения наблюдались камнепады и мелкие обвалы глыбово-щелнистого материала.

Джазатор. Трещинные деформации на территории села наблюдались в заболоченной пойме р. Жасагер, а также в уступе террасы, на северной окраине села. Пораженность селитебной зоны менее 10 %. Трещины, как правило, небольшой протяженности, шириной 0,1-0,2 м, глубиной до 1 м. Преобладающая ориентировка трещин - 170-350° и 80-260°. Большинство трещин сопровождалось маломощным фонтанированием водно-грязевых масс. После первого толчка из фонтана высотой 0,5 м, расположенного в пойме р. Жасагер, по словам очевидца, изливалась "холодная грязная вода" в течение 20 минут, а в реке образовалась большая волна.

Курай. Деформации поверхности на территории села наблюдались локально в заболоченной пойме рек Курайка и Кызылташ на западной окраине села. Трещины небольшой протяженности шириной до 0,5 м и глубиной до 0,4 м почти всегда сопровождалась самопроизвольным кратковременным излиянием водно-грязевых масс, мощность наносов достигала 0,1-0,2 м. Подавляющее большинство трещин ориентировано по азимуту 170°-350°.

Большое число и разнообразие трещинных деформаций отмечено местными жителями на левобережной террасе р. Чуя у подножия Северо-Чуйского хребта и на высокогорной метеостанции Акгру, расположенной в 5-10 км северо-восточнее эпицентров крупных сейсмических событий, имевших место в период 27.09.03г. - 1.10.03г.

Геологические факторы образования сейсмогенных деформаций поверхности. Развитие сейсмогенных дислокаций в эпицентральной зоне Алтайского землетрясения носило избирательный характер и контролировалось геологическими факторами, которые по уровню значимости образуют условный ряд: тектонические - литологические - гидрогеологические - геокриологические факторы.

Тектонический фактор. Наблюдения показывают, что большинство сейсмогенных дислокаций приурочено к зонам Чарышско-Теректинского и Северо-Чуйского разломов. Наиболее катастрофические деформации зафиксированы в зоне сопряжения этих разломов и в тектонической зоне Северо-Чуйского разлома. Так, с. Ортолык (35 км от эпицентра), стоянка близ Мухор-Тархаты (35 км), с. Кош-Агач (45 км), стоянка Актел (60 км), расположенные в зоне влияния восточной ветви Чарышско-Теректинского разлома, несмотря на достаточную удаленность от эпицентра землетрясения, характеризуются широким спектром сейсмогенных деформаций и высокой степенью разрушений хозяйственных и жилых объектов. Это подтверждается и доминирующей ориентировкой трещинных деформаций поверхности, совпадающей с направлениями данных разломов. А в селе Курай (28 км), несмотря на очевидную его близость к очагам сейсмических событий, развитие сейсмогенных деформаций поверхности крайне локально. Данные факты подтверждают мнение о том, что простирающиеся сейсмогенные дислокации, как правило, согласуются с главными тектоническими структурами и предопределены ими [4].

Литологический фактор. Сейсмодислокации, проявленные в эпицентральной зоне, приурочены к полям развития рыхлых пород полигенетического комплекса. Существенную роль практически на всех обследованных участках играют осадки озерного и озерно-ледникового генезиса, представленные лессовидными супесями и суглинками. Доминирующий состав грязевых наносов, образованных субнапорными источниками, песчано-супесчано-суглинистый, гораздо реже в составе наносов встречаются примеси гравийных и галечниковых осадков. Как известно, лессовидные осадки озерно-ледникового генезиса обладают высокой просадочностью, что подтверждается образованием в эпицентральной зоне воронок, рвов, линейных зон проседания. Именно это свойство пород в зоне сейсмогенных дислокаций усугубляет опасность дальнейшего развития просадочных явлений по скрытым полостям и трещинам.

Крупные камнепады и обвалы, зафиксированные в эпицентральной зоне, как правило, имеют четкую приуроченность к полям развития массивных плотных пород - мраморизованных известняков и доломитов, характеризующихся слабой трещиноватостью скальных массивов. Именно эти литологические свойства пород предопределили их реакцию на сейсмические удары (толчки). Наиболее крупные глыбы в обвальных конусах наблюдались нами в долине р. Талтура, по левому борту (доломиты размером до  $7*3*2$  м) и на 775 км Чуйского тракта (мраморизованные известняки размером до  $4*2*2$  м).

Гидрогеологический фактор. Большинство сейсмодислокаций (рвов, трещин) сопровождалось перманентным развитием процессов и явлений, связанных с залповыми выходами подземных вод. Этот факт говорит о значительной роли подземных вод в образовании деформаций. Многими исследователями вода относится к важному фактору подготовки сейсмогенных деформаций, способствующему снижению прочности горных пород и провоцирующему сейсмический разрыв [2]. Действительно, трещинные деформации в эпицентральной зоне, сравнительно удаленной от эпицентра (15-50 км) имеют доминирующее развитие в пределах низких, нередко заболоченных пойм, пролювиальных конусов выноса, либо вблизи водоемов и объектов водопользования (скважин, колонок), т.е. в районах с широким развитием горизонтов грунтовых вод.

Геокриологический фактор. Эпицентральный район в радиусе обследования относится к зонам развития сплошной многолетней мерзлоты в горном обрамлении Чуйской впадины и прерывистой многолетней мерзлоты в центральных частях Чуйской, Курайской впадин и долина рек, где развиты таликовые зоны. Наибольшее развитие процессов, связанных с залповыми выбросами подземных вод, связано именно с таликовыми зонами, в которых широко развиты горизонты подземных вод. Большинство обследованных нами сейсмоструктурных деформаций поверхности имело глубину 0,5-2,0 м, сопоставимую с мощностью деятельного или сезонно-талого слоя (СТС). Лишь в сейсмоструктурных



дислокациях, развитых в зоне влияния сейсмогенерирующего разлома, в эпицентрах основных сейсмических толчков, глубина сейсмогенных рвов достигала 10 и более метров. Возможно, развитие многолетнемерзлых пород в эпицентральной зоне сыграло роль сдерживающего фактора и обусловило сравнительно ограниченный характер развития сейсмогенных деформаций на поверхности. В мировой истории землетрясения такой силы характеризовались, как правило, более мощными дислокациями на поверхности и более сильными разрушениями хозяйственных объектов и сооружений.

Тенденции дальнейшего развития сейсмогенных деформаций. Напряжения сжатия и растяжения, проявившиеся в приповерхностных слоях эпицентральной зоны, вызвали деформации в горных породах, и, безусловно, изменили гидродинамический режим многих водоносных комплексов и горизонтов, в том числе и условия питания поверхностных водотоков. Возможно, возникли новые гидравлические связи и фильтрационные зоны, увеличился или уменьшился напор вод глубоких горизонтов, произошло смешивание вод различных комплексов и т.д. Деформации горных пород в зоне с многолетней устойчивой мерзлотой весьма опасны в отношении возникновения триггерного фактора, способствующего деградации мерзлоты. На общем фоне глобальной потепления, которое зафиксировано, в частности, и на территории республики, состояние многолетнемерзлых пород в настоящее время находится в условиях неустойчивого равновесия, которое вызвано, в первую очередь, температурным режимом зимнего периода года. Превышение среднемесячных значений температуры зимних месяцев в течение последних 20 лет достигло 6-8<sup>0</sup>, что является рубежным показателем, за которым неизбежно следует деградация многолетней мерзлоты. В этих условиях деформации в горных породах могут состояние неустойчивого равновесия обратить в состояние стабильной деградации. Таким образом, сейсмические события 2003г. на территории Юго-Восточного Алтая, скорее всего, вызовут активизацию и развитие следующих опасных природных процессов:

- \* просадочные явления по сейсмогенным деформациям различного ранга;
- \* оползневые процессы на склонах, пораженных трещинами;
- \* деградация мерзлоты и активизация геоэкологических процессов;
- \* изменение режима и качественного состава поверхностных и подземных вод;
- \* активизация эрозионных процессов;
- \* изменение состояния ледников в горах.

Активизация процессов - закономерная "компенсационная" реакция геологической среды с целью стабилизации состояния недр. В связи с этим, следует сказать, что дальнейшее изучение геологических процессов во всем их многообразии даст возможность прогнозировать сценарии восстановительных функций ГС на территории Горного Алтая. Попытаемся дать краткий обзор геологических процессов, активизация которых обусловлена данным сейсмическим событием.

Просадочные явления. В зимний период года просадки по трещинным деформациям, скорее всего, прекратятся, но с приходом весны следует ожидать некоторую "остаточную" активизацию просадочных явлений по зонам трещин. Эти явления могут вызвать незначительные деформации зданий и хозяйственных объектов, расположенных непосредственно на трещинах, либо вблизи их. В связи с большими излияниями водно-грязевых масс возможно образование в приповерхностных слоях скрытых пустот и полостей, по которым возможны не только просадки, но и обрушения сводов. Наблюдения показывают, что бугры выдавливания в результате просадочных явлений по трещинам и зонам образуют замкнутые западины в рельефе, трещины и рвы - линейные зоны понижений, по которым возможен сток метеогенных вод и активизация эрозионных процессов.

Оползни. На склонах долины рек Талтура и Чаган образовались протяженные трещины растяжения, в зонах которых могут в будущем образоваться надоползневые уступы фронтального типа. В бортах речных террас, в моренных уступах возникли дугообразные

трещины растяжения, по которым произошли и будут происходить незначительные смещения грунта. В пределах Чуйского участка наблюдений на древних оползневых массивах и вне их на склонах появились свежие трещины, зоны проседания, по которым возможна активизация оползневых процессов в весенне-летний период 2004г.

Геокриологические процессы. В зоне устойчивой многолетней мерзлоты, к которой относится территория Кош-Агачского района, геокриологические процессы весьма разнообразны по типам. Наибольший ущерб хозяйственным объектам наносят термокарстовые просадки, наледообразование и подтопление криогенно-напорными водами в зимний период. В последние годы наблюдалась активизация процессов подтопления на территории сел Кош-Агач и Тобелер, что, очевидно, связано с глобальным потеплением климата и деградацией мерзлоты. Учитывая тот факт, что в результате Алтайского землетрясения в грунтах возникло множество сейсмогенных деформаций, как открыток на поверхности, так и погребенных, в зимний период года возможно подтопление субнапорными подземными водами не только на традиционных участках, но и на территориях, имеющих наибольшее число сейсмогенных деформаций (села Бельтир и Ортолык). Гидрогенные наледи широко представлены на территории практически всех сел Кош-Агачского района, за исключением Ташанты и Джазатора. Их образование связано, в первую очередь, с повышенной долей грунтового питания водотоков в бассейне Чуи и ледовым режимом рек. В результате землетрясения реки получили дополнительное питание за счет появления новых субнапорных источников по сейсмогенным деформациям, что фиксируется повышенным уровнем воды не только в постоянных, но и во временных водотоках эпицентральной зоны. В зимний период времени, если сохранится повышенный уровень воды в водотоках, наледные процессы будут проявлены более широко. Просадочные явления в результате термокарста, как правило, развиваются на локальных участках деградации мерзлоты, вызванной как техногенными факторами, так и природными. Скорее всего, эти процессы будут активизироваться на территориях, нарушенных сейсмогенными деформациями.

Изменение режима и качественного состава поверхностных и подземных вод. В результате сейсмогенных деформаций горных пород при обследовании наблюдались нарушения гидродинамического режима поверхностных и подземных вод, в том числе и вызванные деформациями околоствольного пространства и конструкций водозаборных скважин. Физические свойства поверхностных и подземных вод испытывали кратковременные изменения, причем, если мутность в подземных водах отмечалась в течение нескольких часов - 1-2 суток, то мутность воды в водотоках наблюдалась значительно дольше, до 2-3 недель. Изменился и качественный состав природных вод, в макрокомпонентном составе увеличилось содержание хлоридов, сульфатов, катионов натрия, калия и магния.

Изменение состояния ледников в высокогорных хребтах. Сейсмогенные деформации затронули не только поверхность земли, но и ледниковый покров в высокогорье. Трещинные деформации, возникшие в теле ледников, в период весенне-летнего таяния создают дополнительные русла стока, а дезинтеграция некоторых монолитных участков льда увеличит скорости таяния, что в совокупности приведет к ускорению процесса деградации ледникового покрова. В период половодья эти тенденции опасны более мощными паводками в водотоках, текущих с ледников, и, следовательно, активизацией эрозионных процессов.

Развитие эрозионных процессов. Изменение режима поверхностных водных объектов и изменение состояния ледникового покрова в высокогорье, несомненно, вызовут активизацию эрозионных процессов в основных водотоках эпицентральной зоны. Ситуация усугубляется и тем, что афтершоки Алтайского землетрясения в течение длительного периода имели высокую магнитуду (4-7 баллов), что наряду с основным сейсмическим событием, конечно же, провоцировало сход лавин и образование снежников и заторов в верховьях водотоков. В период снеготаяния и в весенне-летнее половодье возможно развитие не только мощных паводков, но и катастрофических прорывов заторов, грозящих наводнением и затоплением

низинных участков пойм, ранее не затоплявавшихся. В эпицентральной зоне в пойменных пространствах и береговых уступах водотоков возникли протяженные трещины отпора, по которым эрозионный размыв будет более активным. Наиболее опасная эрозионная ситуация в пик половодья 2004г. может сложиться на территории сел Бельтир и Чаган-Узун.

В настоящий момент трудно предсказать, каковы восстановительные функции геологической среды, и насколько опасны природные процессы, вызванные сейсмическими толчками. Необходима организация мониторинга всех депонирующих сред в пределах сейсмоактивной зоны, в том числе опасных геологических процессов, подземных и поверхностных вод, ледников. Организация наблюдательной сети (НС) возможна на территориальном уровне, при волевом решении и непосредственном содействии властных структур Республики Алтай и УПР и ООС по Республике Алтай. На первом этапе организации НС необходимо проведение комплекса мероприятий, включающих следующие виды работ:

\* обследование эпицентров крупных сейсмических событий, их точная привязка, картирование сейсмогенных деформаций поверхности, их направленность и параметры;

\* тщательная фиксация всех изменений геологической среды, вербально и визуально ощущаемых человеком;

\* выбор репрезентативных участков и организация на них наблюдений;

\* районирование сейсмоактивной территории по экологическим условиям проживания, в том числе и по степени опасности природных процессов.

В заключение следует заметить, что геологические, в том числе и сейсмические процессы, наряду с климатическими и геологическими факторами, являются основополагающими ролевыми элементами в оценке экологических условий территорий с точки зрения комфортности проживания. Учет этих факторов в вопросах освоения и проживания на территориях с высокой геологической напряженностью - залог безопасности и здоровья населения. В связи с этим, долгосрочная Программа мониторинга состояния недр (геологической среды) на сейсмоактивных территориях в свете прошедших событий - весьма актуальная проблема для Республики Алтай.

#### Литература

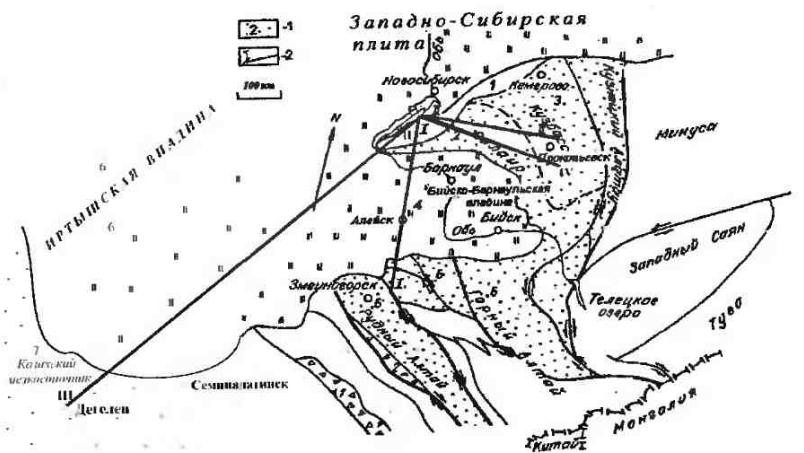
1. Информационное сообщение об Алтайском землетрясении 27 сентября 2003г. // <http://www-ceme.gsras.ru>
2. Основы гидрогеологии. Том 4. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах. Отв. редактор Е.В. Пинискер. -Новосибирск: Издательство "Наука", 1982
3. Рогожин Е.А., Платонова С.Г. Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. Российская академия наук. Институт физики Земли им. Г.А. Гамбурцева -М: 2002
4. Хромовских В.С., Никонов А.А. По следам сильных землетрясений. -М: Издательство "Наука", 1984

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ АЛТАЕ - САЯНСКОГО СЕЙСМОАКТИВНОГО РЕГИОНА

В.С.Селезнев<sup>1</sup>, В.М.Соловьев<sup>2</sup>, А.Ф.Еманов<sup>2</sup>, А.С.Сальников<sup>3</sup>

IGC СО РАН, Новосибирск  
 2АСФ IГC СО РАН, Новосибирск  
 ЗФГУП "СНИИГГиМС", Новосибирск

Усилиями ряда научных и производственных организаций Сибири в восьмидесятые-девяностые годы были созданы мощные вибрационные источники, обеспечивающие генерацию сейсмических волн с высокой стабильностью излучения (амплитуда, фаза, частотный спектр, направленность), требуемую при решении ряда задач, таких как изучение напряженно-деформированного состояния среды очаговых зон, изучение сейсмостойкости зданий и промышленных объектов и др. Создаваемые мощные стационарные и передвижные виброисточники должны были также стать альтернативой мощным химическим и ядерным взрывам при изучении глубинного строения земной коры и верхней мантии различных регионов Сибири (и других регионов России), особенно промышленных зон, зон заповедников (Байкал, Телецкое и др.), территорий ГЭС, АЭС и др., где по экологическим соображениям и условиям безопасности невозможно проведение даже ограниченных по мощности химических взрывов.



1 - тектонические зоны:

- 1 - Томь-Колыванская складчатая зона, 2 - Салаирский кряж,
- 3 - Кузнецкая впадина, 4 - Бийско-Барнаульская впадина, 5 - Алтай,
- 6 - Иртышская впадина, 7 - Казахский мелкосопочник.

2 - вибросейсмические профили:

- I-I - Быстровка-Алейск,
- II-II - Быстровка-Проконьевск,
- III-III - Быстровка-Дегелев,
- IV-IV - Быстровка-Новокузнецк.

Рис. 1. Обзорная схема района исследований

В результате опытно-методических работ, выполненных в различных регионах Сибири, зарегистрированы монохроматические сигналы от мощных виброисточников на удалениях до 1500 км и получены кондиционные вибросейсмические записи на удалениях до 350 км, сравнимые по качеству с записями от взрывов в водоемах и скважинах. Прямыми экспериментами показано, что сорокаминутная работа мощного 100-тонного виброисточника

эквивалентна по сейсмической энергии взрыву 4-5 тонн тротила, а 40-минутная работа 40-тонного сборно-разборного вибратора в 3-4 раза слабее рассредоточенного взрыва заряда тротила весом 1.5 тонны в водоеме глубиной 1.5-2.5 м.

В статье представлены результаты вибросейсмических исследований в Алтае-Саянском регионе по изучению глубинного строения земной коры и верхней мантии, детального изучения волнового поля от мощных виброисточников на различных удалениях для последующего режимного вибросейсмического мониторинга сейсмоопасных участков региона с высокой промышленной инфраструктурой, таких как территория Кузбасса, гг.Новосибирск, Барнаул, Горно-Алтайск и др.

Здесь впервые в мире с использованием мощных 100-тонного стационарного и 40-тонного передвижного виброисточников отработаны четыре 300-километровых сейсмических профиля методом ГСЗ, пересекающих неоднородные складчатые структуры Алтае-Саянской складчатой области (рис. 1).

В результате анализа и обобщения материалов глубинных сейсмических исследований этого региона различными научными и производственными геофизическими организациями и результатов проведенных вибросейсмических исследований составлены разрезы земной коры по профилям п. Быстровка - г. Алейск, п. Быстровка - г. Дегелен, п. Быстровка - г.Прокопьевск, п. Быстровка - г. Новокузнецк.

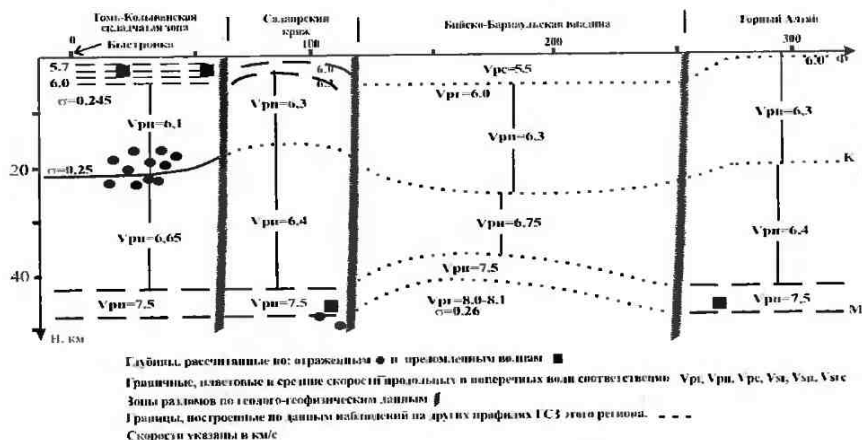


Рис. 2. Результаты вибросейсмических исследований по профилю п. Быстровка - г. Алейск

Профиль п. Быстровка - г. Алейск проходит через три разнородных геологических структуры: Томь-Кольванскую складчатую зону, Салаирский кряж и Бийско-Барнаульскую впадину (рис. 2). Для каждой из этих областей по данным глубинных сейсмических наблюдений, проводившихся в различные годы, были построены разрезы земной коры по профилям, расположенных вблизи от рассматриваемого. Модели строения земной коры по профилю Быстровка - Алейск для каждой из областей были взяты в соответствующих разрезах прошлых лет и дополнены вновь полученными данными (рис. 3).

Поверхность фундамента на исследуемом профиле расположена на резкоменяющихся глубинах: практически от поверхности в южной и северной частях профиля и на больших

глубинах (4 - 6 км) в центральной части профиля (участок Бийско-Барнаульской впадины). Скорости продольных волн в верхней части кристаллических пород изменяются от 5.7 - 6.0 км/с до 6.3 км/с (в районе Салаирского кряжа).

Выделенная граница ( $K''$ ) расположена в средней части земной коры на глубинах 18 - 25 км и практически коррелирует с поверхностью кристаллических пород. Максимальные ее глубины (достигающие 25 км) установлены в центральной части профиля на участке Бийско-Барнаульской впадины.

Глубина до поверхности Мохоровичича ( $M$ ) на исследуемом профиле изменяется от 40 км (на участке Бийско-Барнаульской впадины) до 50 км на южном окончании профиля (в районе Горного Алтая). Средние значения граничных скоростей продольных волн по поверхности Мохоровичича составляют 8.0 - 8.1 км/с. По данным закритических отраженных волн от поверхности Мохоровичича на представленном разрезе отражен слой в низах коры со скоростями продольных волн  $7.5 \pm 0.2$  км/с.

Профиль Быстровка - Дегелен. По выделенным в результате анализа волнового поля группам опорных волн построены сводные годографы в прямом и встречном направлениях и определены значения скоростей  $P$ - и  $S$ -волн в верхней части земной коры и по поверхности Мохоровичича.

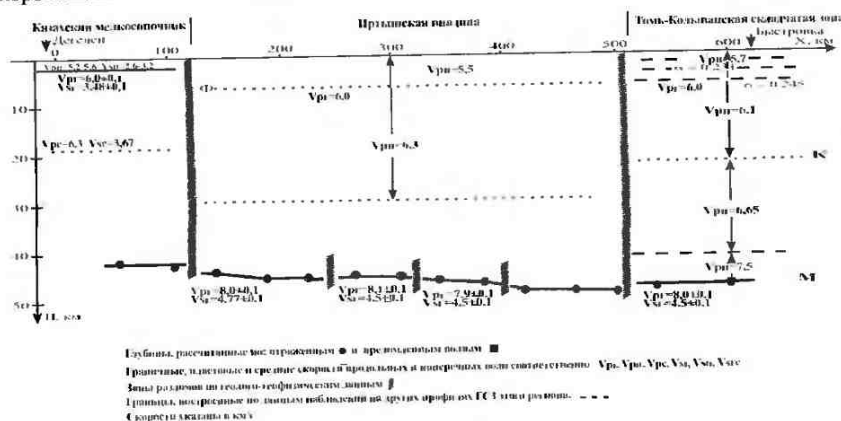


Рис. 3. Результаты вибросейсмических исследований по профилю п. Быстровка - г. Дегелен

Глубинный сейсмический разрез, составленный по совокупности полученных выше данных, представлен на рис. 3. В построении разреза использовалась информация с вибросейсмических профилей Быстровка - Алейск (Крылов С.В., Дучков А.Д., 1996, Алексеев А.С., Селезнев В.С., Соловьев В.М. и др., 1998, Соловьев В.М., Селезнев В.С., Еманов А.Ф. и др., 1998), данные по геотравесу "Базальт", проходящему в районе Дегелена, данные по регистрации калибровочного взрыва в районе Дегелена (Беляшева Н.Н., Шацков В.И., Михайлова Н.Н. и др., 2000), данные ГСЗ 60-ых годов (Методика ..., 1978).

В целом на представленном разрезе выделяются три зоны - Томь-Колыванская складчатая зона в северо-восточной части профиля, Обь-Иртышская впадина Западно-Сибирской плиты в центральной части профиля и Казахский мелкосопочник в юго-западной части (район Дегелена).

Томь-Колыванская складчатая зона. Скорости продольных волн в верхней части земной коры изменяются от 5.7 км/с до 6.0 км/с. В средней части коры на глубинах 20 - 22 км выделена коровая граница, средняя скорость продольных волн до которой составляет 6.1 км/с. Поверхность Мохоровичича расположена на глубинах 47 - 48 км. Скорости  $P$ - и  $S$ -волн по границе  $M$  составляют соответственно  $8.0 \pm 0.1$  км/с и  $4.5 \pm 0.1$  км/с. В низах коры пластовые

скорости Р-волн составляют 7.5 км/с.

Обь-Иртышская впадина Западно-Сибирской плиты. Верхняя и средняя часть представлены по данным малодетальных исследований методом ГСЗ (Беляшева Н.Н., Шацков В.И., Михайлова Н.Н. и др., 2000) и в дальнейшем требуют уточнения. Мощность осадочного чехла в центральной части впадины составляет 5 км. Скорости продольных волн в осадочном чехле и по поверхности фундамента составляют соответственно 5.5 км/с и 6.0 км/с. На глубинах 30км выделяется коровая отражающая граница, однако ее уровень и повсеместность проявления также требуются в уточнении. Поверхность Мохоровичича расположена на глубине 44 - 48 км. Скорости Р- и S-волн по границе М составляют соответственно  $7.9 \pm 0.1$  км/с и  $4.5 \pm 0.1$  км/с.

Казахский мелкосопочник. В самой верхней части земной коры (0 - 1 км) по данным на геотрансекте "Базальт" и информации по малым базам из (Провести ..., 1999) скорости Р- и S-волн составляют 5.2 - 5.6 км/с и 2.6 - 3.2 км/с. Скорости Р- и S-волн в кристаллических породах составляют 6.0 км/с и 3.48 км/с. В средней части коры выделяется отражающая граница, скорости Р- и S-волн по кровле которой равны соответственно 6.3 км/с и 3.6 км/с. Поверхность Мохоровичича расположена на глубинах 42 - 44 км. Скорости Р- и S-волн по поверхности М составляют соответственно  $8.0 \pm 0.1$  км/с и  $4.77 \pm 0.1$  км/с.

Поверхность фундамента на профиле п. Быстровка - г. Прокопьевск (рис. 4) расположена практически с поверхности в пределах Томь-Колыванской складчатой зоны и Салаирского кряжа. Скорости в верхней части фундамента на участке Томь-Колыванской складчатой зоны и Салаирского кряжа составляет  $5.7 \pm 0.1$  км/с и  $3.3 \pm 0.1$  км/с для Р- и S-волн, что приблизительно на 0.1 км/с меньше значений скоростей Р- и S-волн на ортогональном профиле Быстровка-Алейск. В пределах Кузнецкой впадины мощность осадочных отложений достигает 10 км, скорости продольных волн в осадочном чехле и по поверхности фундамента составляют соответственно  $5.1 \pm 0.1$  км/с и  $6.05 \pm 0.1$  км/с.

В верхней части земной коры на профиле П-П выделена коровая граница К, расположенная на глубинах  $17 \pm 1$  км в пределах Томь-Колыванской складчатой зоны и на глубинах 10-12 км в пределах Салаирского кряжа. Амплитуда смещений по этой границе достигает 5-7 км. Средние скорости Р-и S-волн в вышележащей толще в пределах Томь-Колыванской складчатой зоны составляют  $6.0 \pm 0.1$  км/с и  $3.44 \pm 0.1$  км/с. В пределах Салаирского кряжа средние скорости до границы К составляют  $5.8 \pm 0.1$  км/с. Значения граничных скоростей по поверхности составляют  $6.3 \pm 0.1$  км/с и  $3.5 \pm 0.1$  км/с соответственно для Р- и S-волн.

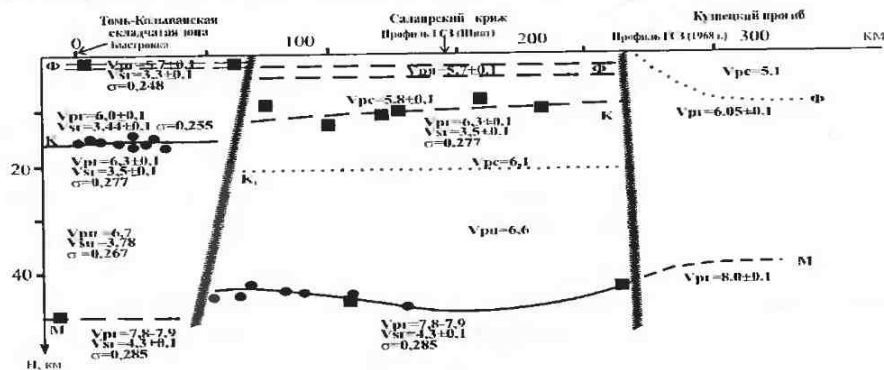


Рис. 4. Результаты виброрейсмических исследований по профилю п. Быстровка - г. Прокопьевск

Поверхность Мохоровичича на исследуемом профиле расположена на глубинах 38-47 км. В пределах Томь-Колыванской складчатой зоны и центральной части Салаирского кряжа она расположена на максимальных глубинах в 47 км, под Кузнецкой впадиной - на глубинах 38-40 км и в окраинных частях Салаирского кряжа на глубинах 42-45 км. В целом средние скорости Р-и S-волн во всей толще земной коры по данным отраженных Р-и S-волн от поверхности Мохоровичича составляют соответственно  $6.4 \pm 0.1$  км/с и  $3.65 \pm 0.1$  км/с. Пластовые скорости в нижележащей от границы К до поверхности М толще по данным Р- и S-волн составляют  $6.7 \pm 0.1$  км/с и  $3.78 \pm 0.1$  км/с. При введении как и на профиле I-I пласта в низах коры со скоростями 7.5 км/с (обоснование которого было произведено по закритическим отраженным волнам) скорость в вышележащем пласте будет составлять 6.5 км/с. Впл под Салаирским кряжем составляет  $6.6 \pm 0.1$  км/с.

Скорости продольных и поперечных волн по поверхности Мохоровичича составляют 7.8-7.9 км/с и  $4.3 \pm 0.1$  км/с. Необходимо отметить следующее обстоятельство. Скорости Р- и S- волн по поверхности Мохоровичича на профиле Быстровка-Прокопьевск ниже приблизительно на 0.2 км/с скоростей Р- и S- волн по поверхности М на ортогональном профиле Быстровка-Алейск. Кроме того скорость продольных волн на ортогональном профиле "Шпат" (участок профиля II-II  $X=135$  км) составляют 7.9-8.1 км/с, что также выше примерно на 0.1-0.2 км/с скоростей на профиле II-II. Данное обстоятельство указывает на возможную анизотропию в верхней мантии региона. Эффективный коэффициент анизотропии составляет примерно 2-3% (по данным с профилями II-II, I-I и "Шпат"). Существование анизотропии в верхней мантии убедительно доказано также на профиле I-I по данным разнополяризованных SV- и SH-волн от поверхности Мохоровичича, различающимися по временам регистрации. Кроме того, по результатам площадных сейсмологических наблюдений в Алтае-Саянском регионе показано, что в западной части площади (вблизи от профиля Быстровка - Прокопьевск) установлено повышение значений скоростей продольных волн по поверхности Мохоровичича в направлении север-юг, по отношению к направлению запад-восток. Хорошая корреляция данных разных методов наряду с самым важным фактом анизотропии в верхней мантии указывает на надежность получаемых при вибросейсмических исследованиях с мощным вибросточником данных.

Профиль п. Быстровка - г. Новокузнецк. По результатам анализа кинематических и динамических характеристик продольных волн на исследуемом профиле (при использовании информации от вибрационных источников и данных промвзрывов) составлено представление о строении земной коры и верхней мантии участка профиля Быстровка - Новокузнецк  $X=0-350$  км (рис. 5). При этом использовались также данные с профилей ГСЗ в этом регионе (Шпат, Барнаул - Усть-Нарык, Колпаево - Таштагол, Быстровка - Прокопьевск). Скорости продольных волн в верхней части земной коры составляют  $5.4 \pm 0.1$  км/с на участке профиля  $X=0-50$  км и  $5.4 \pm 0.1$  км/с на участке профиля  $X=80-200$  км. На участке  $X=60-80$  км и  $X=250$  км практически с поверхности отмечены высокие скорости в 5.8 - 6.0 км/с. В верхней части земной коры (участок  $X=0-50$  км) на глубине ~ 5 км расположена преломляющая поверхность со скоростями  $6.0 \pm 0.1$  км/с и в средней части коры на глубинах 18 - 20 км расположена коровая отражающая граница (с эффективной скоростью до нее 6.3 км/с). Поверхность Мохоровичича расположена на глубинах 46-47 км на участке Томь-Колыванской складчатой зоны и 46-48 км на участке Салаирского кряжа. В переходной зоне (сочленения Томь-Колыванской зоны и Салаирского кряжа) глубины залегания поверхности Мохоровичича составляют 43-46 км. Граничная скорость продольных волн по поверхности Мохоровичича составляет 7.8 - 7.9 км/с.



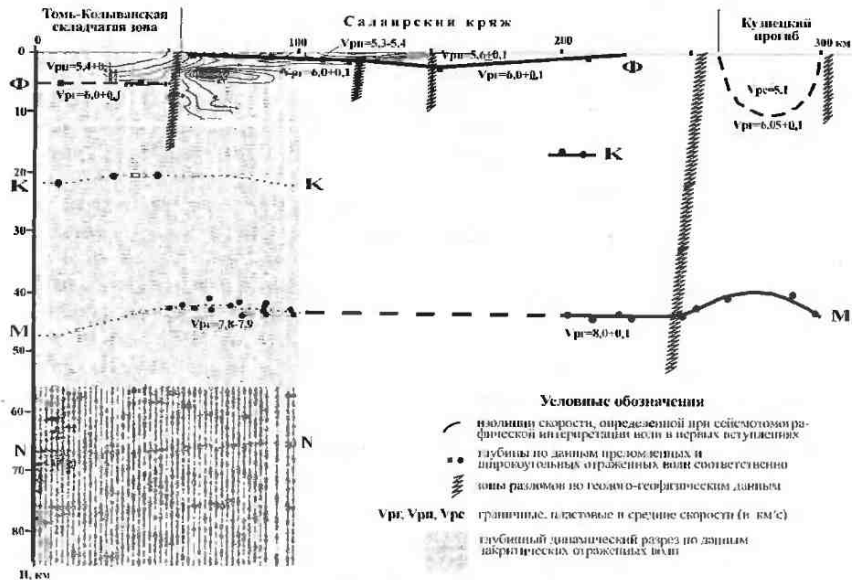


Рис.5. Результаты вибросейсмических исследований в Алтае-Саянском регионе по профилю Новосибирск – Новокузнецк

Другим важным результатом является проведение автоматизированной обработки данных близ- и закритических отраженных волн по методу СГ-ОГТ с получением временного разреза, освещающего глубинное строение земной коры и верхней мантии до глубин 70 - 80 км (рис. 5). Представленный разрез является пионерским, полученный впервые в мире по материалам от мощных передвижных виброисточников при широкоугольных наблюдениях.

На временном разрезе для всей земной коры отчетливо прослеживаются горизонты в средней части земной коры (граница К) и на уровне поверхности Мохоровичича (М). Выявлено погружение границы М до 47 км в начальной части профиля на участке Томь-Кольванской складчатой зоны. Ниже выделенной поверхности М прослеживаются интенсивные отражения, которые могут соответствовать корням Томь-Кольванской складчатой зоны под глубинными структурами Салаирского кряжа.

На временном разрезе для верхней мантии фрагментарно прослеживаются серии протяженных отражающих площадок на разных временах. Наиболее отчетливо на всем рассматриваемом участке прослеживается граница N на глубинах около 70 км, которая может соответствовать уровню глубин, где происходит смена структурного плана верхов мантии: исчезает резкая латеральная неоднородность и усиливается ее субгоризонтальная расслоенность.

Таким образом, проведенные научно-исследовательские и опытно-методические работы позволили обосновать рациональный комплекс сейсмических наблюдений методами ГСЗ, КМПВ-МОВ и СГ-ОГТ с применением мощных вибрационных источников, параметры систем наблюдений и районы проведения наблюдений с целью изучения глубинной структуры Алтае-Саянского региона.

### Литература

1. Алексеев А.С., Селезнев В.С., Соловьев В.М. и др. Вибросейсмические исследования

- Алтае-Саянского региона. / Сб. науч. докл. Всероссийской геофиз. конференции, Новосибирск, Издательство СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1998. -С.33-40.
2. Беляшева Н.Н., Шацлов В.И., Михайлова Н.Н. и др. Использование калибровочных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне для уточнения скоростного разреза земной коры и верхней мантии. Вестник НИЦ Казахстана "Геофизика и проблемы нераспространения", выпуск 2, июнь 2000г., с.45-51.
  3. Крылов С.В., Дучков А.Д. Глубинное деформационно-прочностное районирование земной коры ( на примере Алтае-Саянской и Байкальской сейсмических областей), - Геол. и геофиз., т.37, №9, 1996г.
  4. Методика и аппаратура для региональных сейсмических исследований в труднодоступной местности и их применение в Сибири. -Новосибирск, Наука, 1978.- 204 с.
  5. Провести доработку многоканальной телеметрической аппаратуры, технологическое опробование и опытно-производственные работы на региональном профиле Алтае-Саянского региона с целью изучения глубинного строения сейсмоопасной зоны. Отчет о НИР/СНИИГГиМС; Отв. исп. В.П.Васильев. - Новосибирск, СНИИГГиМС, 1999. - 157 с.
  6. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Жемчугова И.В., Якушев Р.А. Изучение поверхности Мохоровичича Алтае-Саянского региона по данным площадных систем наблюдений преломленных волн от землетрясений // Методы изучения, строение и мониторинг литосферы. Материалы к международным конференциям, Новосибирск 6-13 сентября 1998 с. 275-282.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ЭКСПЕДИЦИЕЙ ГАГУ

А.Ю.Гвоздарев, С.С.Драчев, С.В.Трифанова, А.В.Шитов

Горно-Алтайский государственный университет, г.Горно-Алтайск

## Введение

27 сентября на территории Кош-Агачского района произошло сильное землетрясение (магнитуда  $M=7.5$ ), которое произвело значительные разрушения в селах Бельтир, Чаган-Узун, Ортолык, Курай, Акташ. 9-14 октября 2003 г. в районе землетрясения работала экспедиция ГАГУ, которая в частности, произвела географическое описание последствий землетрясения, GPS-привязку мест нарушений, ландшафтно-климатические исследования в районе землетрясения. Были произведены измерения уровня радиационного фона, содержания ртути в воздухе, а также магнитного поля и его вариаций. Всего было выполнено около 2000 измерений. В эпицентральной зоне были взяты пробы воды и грунта. В данной работе приводятся результаты измерений геофизических полей, сделанные участниками экспедиции.

## Вариации магнитного поля в районе землетрясения

Измерения полного вектора индукции магнитного поля проводились при помощи пешеходного квантового магнитометра ММП-303. Географическая привязка мест измерений производилась при помощи GPS "Garmin". В пяти пунктах измерялись вариации магнитного поля, обычно в течение часа. При этом измерения проводились раз в 10, 5 или 1 минуту. В четырех случаях были обнаружены вариации магнитного поля в виде всплесков, (см. рис. 1). Амплитуда вариаций, видимо, зависела от расстояния до эпицентра, и так как во время экспедиции толчки происходили в районе Актру, здесь и зарегистрированы наиболее сильные вариации (во время измерений с гор сходили лавины, вызванные толчками). Вечерние вариации наблюдались на фоне понижения магнитного поля со скоростью около 8 нТл/час, начинающегося около 20:45 и, видимо, связанного с суточной вариацией (показано пунктиром на рис 1в) Интересно, что знак вариаций по разную сторону от Северо-Чуйского хребта, где располагался эпицентр, менялся на противоположный: в Курае и Актру поле убывало, а в Бельтире росло. Это свойство, если оно подтвердится, при достаточно частой магнитометрической сети может позволить локализовать источник вариации. Пока неясно, связаны ли вариации с моментами толчков или предшествуют им: для этого слишком мало информации.

## Таблица 1

Характеристики импульсных вариаций магнитного поля в эпицентральной зоне

	Место	Географическая высота, м	Широта	Долгота	Дата	Время	Амплитуда, нТл
1	близ с. Курай	1556	50,24498	87,90048	09.10.03	23:15-23:35	-40
2	Актру	2128	50,08546	87,78021	10.10.03	12:27-13:07	-224
3	р. Кууюктанар	1671	50,15640	88,30777	10.10.03	20:45-21:30	-
4	Бельтир, в доме				11.10.03	20:50-22:00	15
5	Бельтир, оз. Огырак-Кель	1961	49,97926	88,16037	12.10.03	19:55-21:20	15

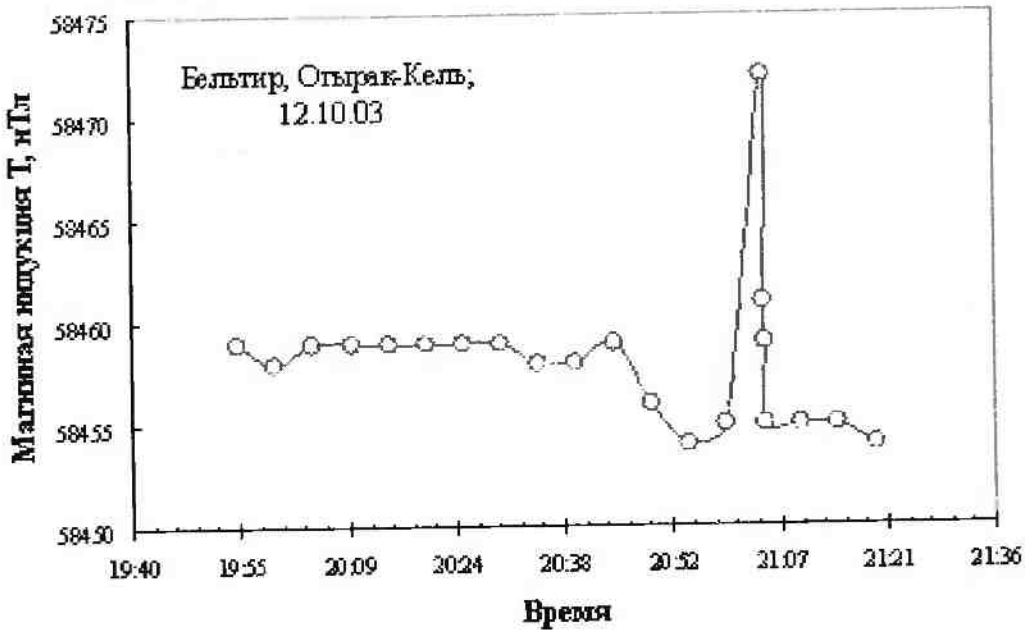
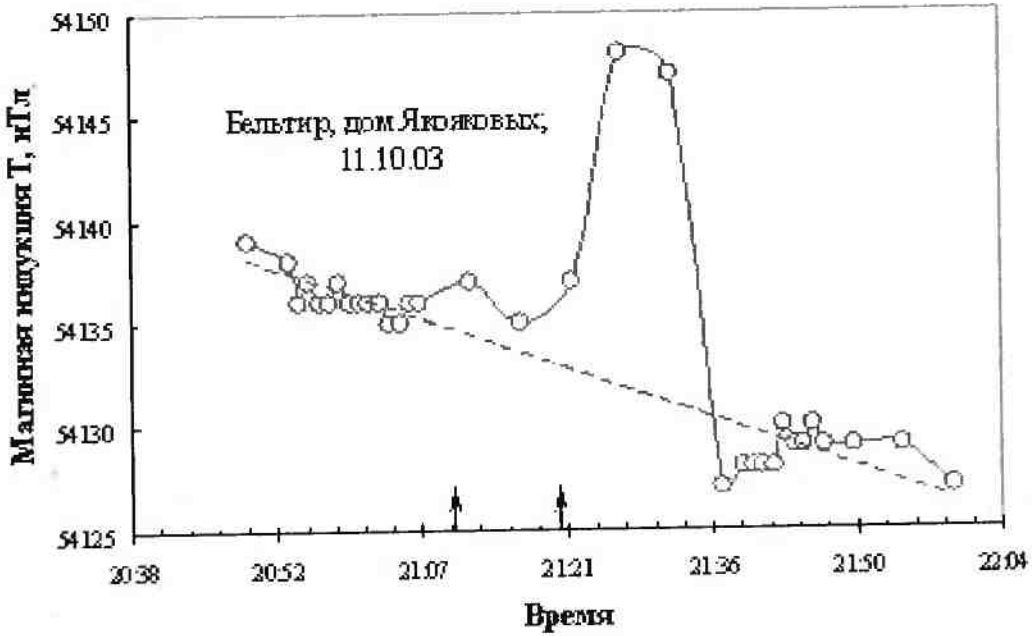
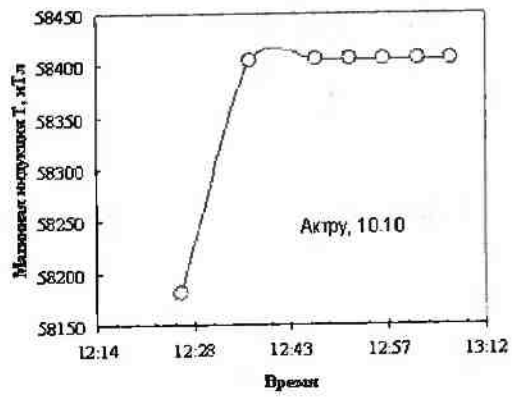
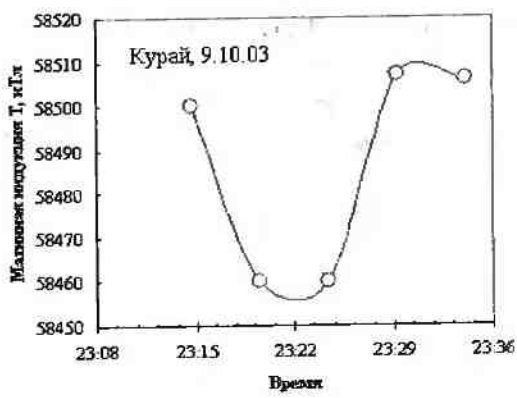


Рис. 1. Вариации магнитного поля, зарегистрированные в районе землетрясения. Вечерние вариации наблюдались на фоне понижения магнитного поля со скоростью около 8 нТл/час, начинающегося в 20:45 и, видимо, связанного с суточной вариацией (показано пунктиром на рис. 1в). Стрелочками на рис. 1в показаны моменты ощутимых толчков.

### Магнитный профиль вдоль восточного борта оползня в Арха-Узюк

Вдоль восточного борта оползня в долине р. Талтуры (ур. Арха-Узюк) был снят магнитометрический профиль с шагом между измерениями около 14 м (10 пар шагов). При обработке результатов был обнаружен рост магнитного поля с увеличением высоты (см. рис.2). Этот рост, видимо, связан с влиянием коренных пород, слагающих хребет. После вычитания поправки за высоту был получен профиль аномального поля (рис. 3) Отрицательные аномалии на профиле оказались связаны с наличием трещин. Интересно, что трещина в районе пункта 205, где наблюдается сильная отрицательная аномалия, была закрытой, лишь при анализе фотографий оползня было замечено, что в эту точку выходит продолжение разрыва глубиной более 10 м, отделяющего от склона большой блок, который пока не сполз вниз. Таким образом, анализ магнитных аномалий позволяет выявлять и скрытые в глубине сейсморазрывы.

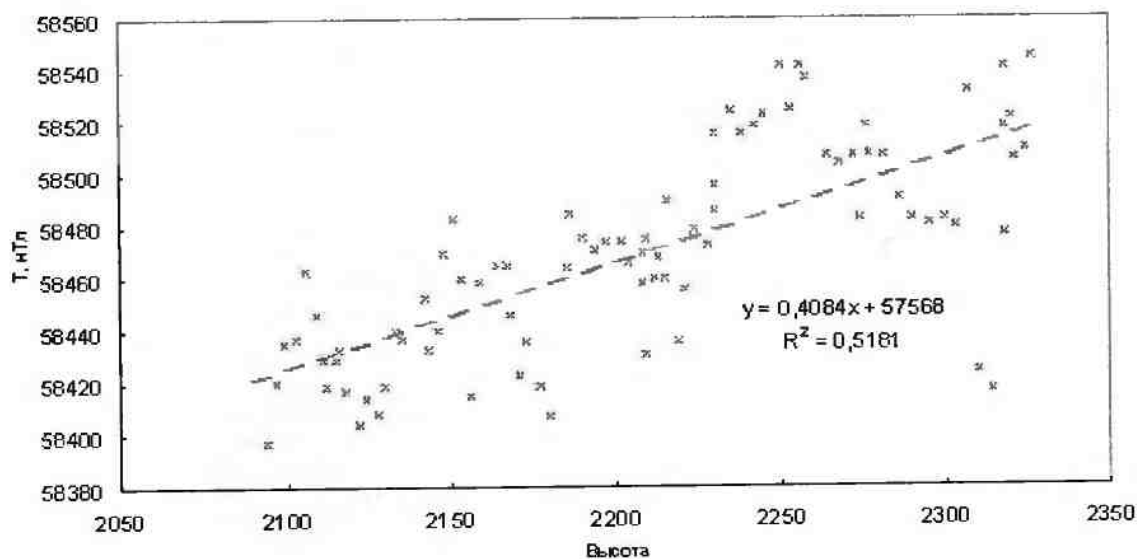


Рис. 2. Зависимость магнитной индукции от географической высоты места. Явно прослеживается рост магнитного поля с темпом прироста 0,41 нТл/м.

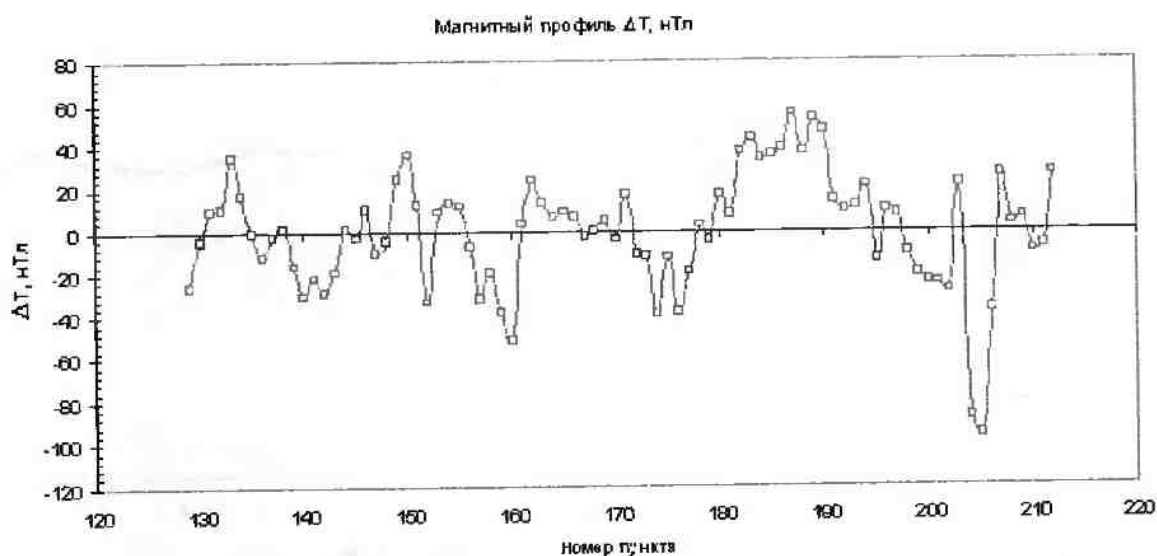
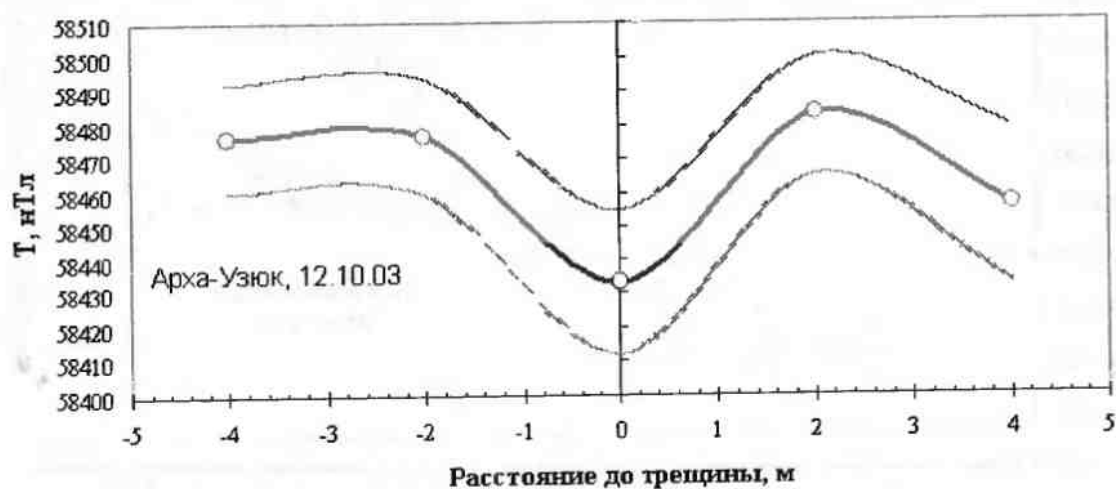


Рис. 3. Профиль магнитных аномалий вдоль восточного борта оползня в Арха-Узюк. Произведено вычитание поправки на высоту рельефа. Шаг между пунктами - около 14 м.

### Магнитные аномалии, связанные с трещинами

После выявления убывания магнитного поля над трещинами при прохождении маршрута была произведена детальная микросъемка трещины в Арха-Узюк и позднее - сейсмотрешины на водоразделе р. Елангаш и р. Чаган-Узун (плато Ада-Кель). Обе трещины заложены в рыхлом осадочном чехле. В первом случае ширина трещины составляла около 0.5 м, глубина - 4м, во втором - от 0.2 до 1 м при глубине до 2м (на измеренном участке). Трещина на Ада-Кель в дальнейшем расширялась до 2-3 м при глубине до 7м (в этой части микросъемка не делалась). На рис. 4 приведены усредненные профили магнитного поля в окрестности трещин. Видно, что над трещиной наблюдается "магнитный провал", а на расстоянии 2 м от оси начинается некоторое повышение магнитного поля. Тонкими кривыми на рисунке показано отклонение верхнего и нижнего пределов в разбросе данных. Маленькая гладкость профиля в Ада-Кель, заметная на рисунке, видимо, связана с большей неоднородностью трещины там. В Арха-Узюке было проведено разовое измерение зависимости магнитного поля внутри трещины от глубины опускания датчика (см. рис.5) - поле при этом убывало.



а

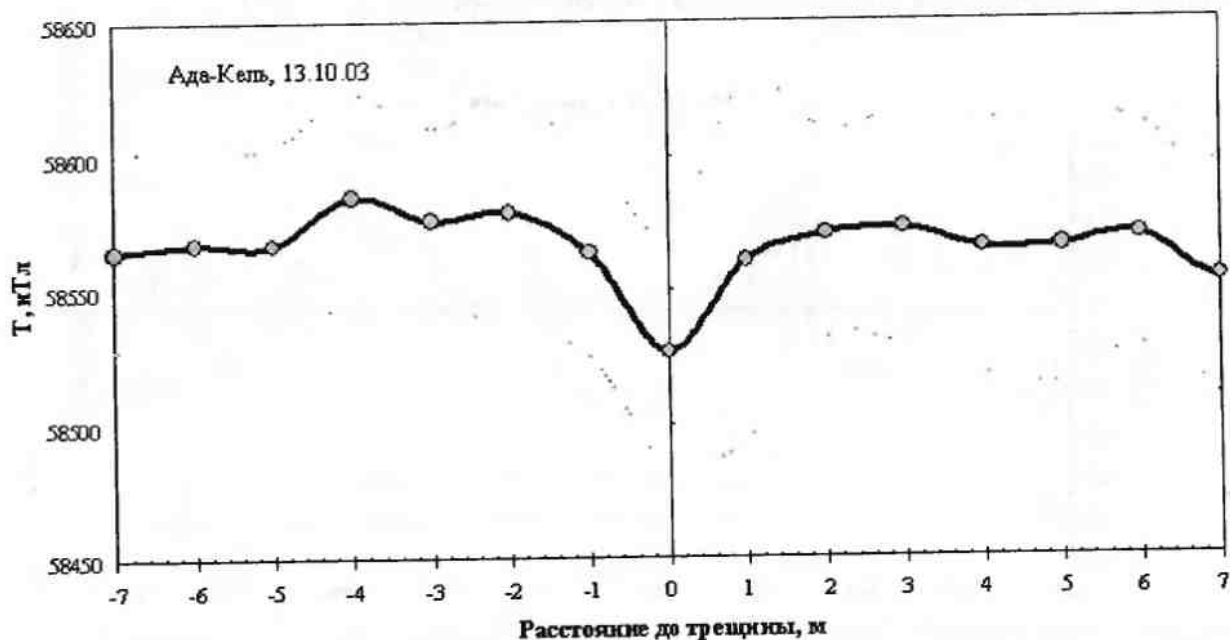


Рис. 4. Магнитные аномалии вблизи трещин

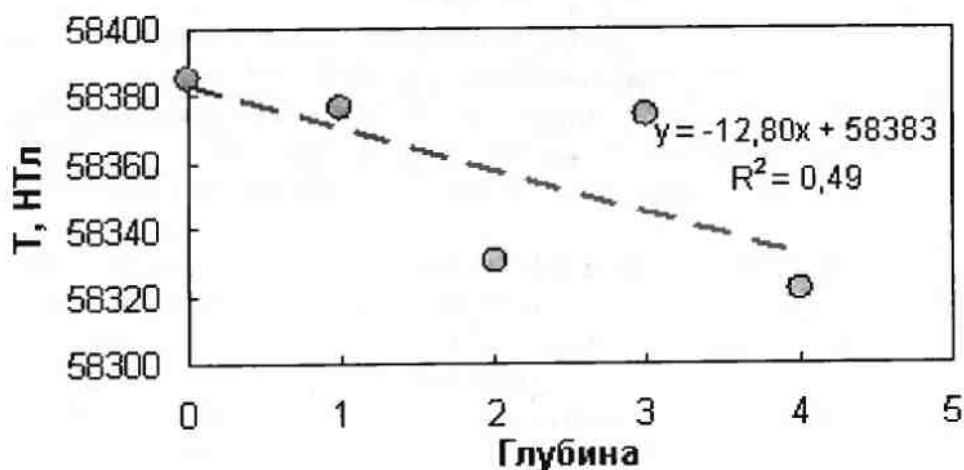


Рис.5. Вертикальный профиль магнитного поля в трещине: зависимость поля от глубины опускания прибора. Хорошо заметен спад поля с градиентом 13 нТл/м.

### Особенности GPS-приема в зоне сейсмических нарушений

При прохождении маршрута было замечено, что вблизи трещин GPS-приемник "теряет" спутники. Это явление может быть вызвано повышенной концентрацией ионов, возникающих благодаря истечению радона. При камеральной обработке данных эта неуверенность GPS-приема проявлялась в искривлении линии маршрута, сливании точек или их излохотной разреженности. Для проверки этой гипотезы были рассчитаны измеренные расстояния между пунктами, затем учтена его зависимость от приращения высоты между пунктами (в гору шаг короче) и построен профиль ошибок GPS вдоль восточного борта разлома. Оказалось, что существует корреляция между ошибкой измерения и аномальным магнитным полем на участке вдоль борта оползня (точки 128-190). Коэффициент корреляции Кендалла между ошибкой расстояния и аномальным полем, смещенным на два пункта, принимает значение  $= -0,18$  при уровне значимости  $p=0,04$ . Таким образом, можно предположить, что источником ошибок являлся фактор, связанный с трещинами. Смещение, видимо, вызвано ветром, сносящим ионы от трещин.

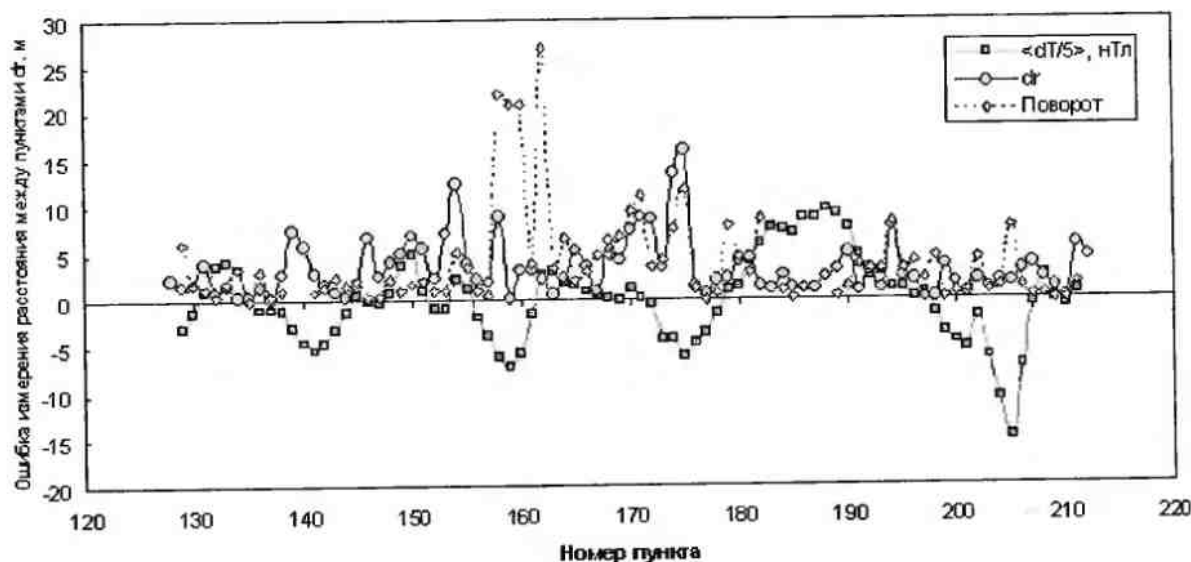


Рис.6. Профиль ошибок измерения расстояния между пунктами  $dr(N)$ , углов поворота между отрезками профиля и усредненного по трем точкам аномального поля  $dT$ . Индукция аномального поля для приведения к масштабу рисунка разделена на 5.

Существует предположение, что аномалии импульсного электромагнитного излучения являются следствием изменения условий распространения электромагнитных волн. При этом, в процессе подтопки землетрясения изменяется уровень ионизации над эпицентральной областью, что в свою очередь влияет на интенсивность распространяющихся через эпицентральной область электромагнитных волн. В рамках таких представлений получают объяснение случаи "исчезновения" сигнала от спутника [Мигунов, Соболев, Хромов, 1984].

Существовали и другие признаки повышенной ионизации воздуха, связанной с сейсмодислокациями. В долине реки Талтуры отмечались необычные для этого региона туманы. Их образование можно объяснить тем, что при повышенной концентрации ионов облегчается конденсация воды. Измерения гамма фона вблизи каналов грифонов и в сейсморазрывах давали слегка повышенные значения (15-20 мкР/ч при фоновых 9-13 мкР/ч), что, видимо, связано с активностью радона. Между тем, прямые измерения эквивалентной равновесной объемной активности радона и торона в воздухе при помощи радиометра аэрозолей РАА-01 (прибор любезно предоставлен радиологической лабораторией РесЦГСЭН) результата не дали - уровни активности были ниже порога измерения. Возможно, это связано с тем, что прибор предназначен для измерений в помещениях, где радиоактивные эманации накапливаются, а наши измерения проходили на открытом воздухе.

### *Измерения содержания газообразной ртути в воздухе*

Измерения содержания газообразной ртути в воздухе проводились при помощи переносного газортутного анализатора АГП-01, любезно предоставленного "Алтай-гео". Измерения проводились в режиме поиска. Так как прибор потребляет много электроэнергии, неудобен в переноске, объем работ был невелик. Результаты приведены в табл.2. Обращает на себя внимание повышенный на фоне других результатов измерений на Актру. Это, видимо, связано с его относительно близким расположением с Чаган-Узунским ртутным месторождением, и тем, что измерения проводились вблизи эпицентров толчков, происходящих в это время.

*Таблица 2*

*Результаты измерения содержания газообразной ртути*

	Место	Номер пункта	Географическая высота, м	Широта	Долгота	Дата	Время	Содержание ртути, шт/л	Гамма-фон, мкР/ч
1	Актру	9	2128	50.08546	87.78021	10.окт	13:20	59	10
2	трещина по дороге на Актру	10	1909	50.12877	87.80317	10.окт	около 14:30	5	
3	трещина по дороге на Актру	11	1515	50.17289	87.89135	10.окт	около 16:00	0	
4	Курай, трещина на болоте	12	1466	50.22993	87.92377	10.окт	около 16:30	19	
5	Куютканар	13	1671	50.1564	88.30777	10.окт 11.окт	20:30 8:10	25 19	7 10
6	Чуйский тракт, между Куютканаром и Чаган-Узуном, трещина		1673	50.11595	88.34686	11.окт	10:20	0	6
7	Чаган-Узун	16	1668	50.10231	88.37014	11.окт	10:39	0	7
8	Арха-Узюк	153	2159	49.95696	88.0797	12.окт	11:00	0	12

### *Выводы*

1. В эпицентральной зоне измерениями квантового магнитометра ММП-303 были зарегистрированы всплески магнитного поля длительностью до 10 минут. Данное явление требует дальнейшего исследования.



2. Над сейсморазрывами (в том числе и над скрытыми) были обнаружены отрицательные магнитные аномалии амплитудой до 100 нТл.

3. Радиационный фон в Бельтире во время работы экспедиции был в пределах нормы. Легкое повышение гамма фона (до 15-20 мкР/ч) отмечено вблизи каналов грифонов.

Благодарности

Экспедиция ГАГУ благодарна за помощь в работе Якояковой И.Б. - депутату Кош-Агачского района от с.Бельтир, Кыдатову Р. Ч. - главе администрации с.Бельтир, Якоякову Б.С., Тадыровой А. К., Обухову И.П. (радиологическая лаборатория РесЦГСЭН), Кац В.Е. ("Алтай-Гео")

#### **Литература:**

Мигунов Н.И., Соболев Г.А., Хромов А.А. Естественное электромагнитное излучение в сейсмоактивных районах. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1984. №7. с.55-63.

# ДИСКОИДНЫЕ ОБЛАКА В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

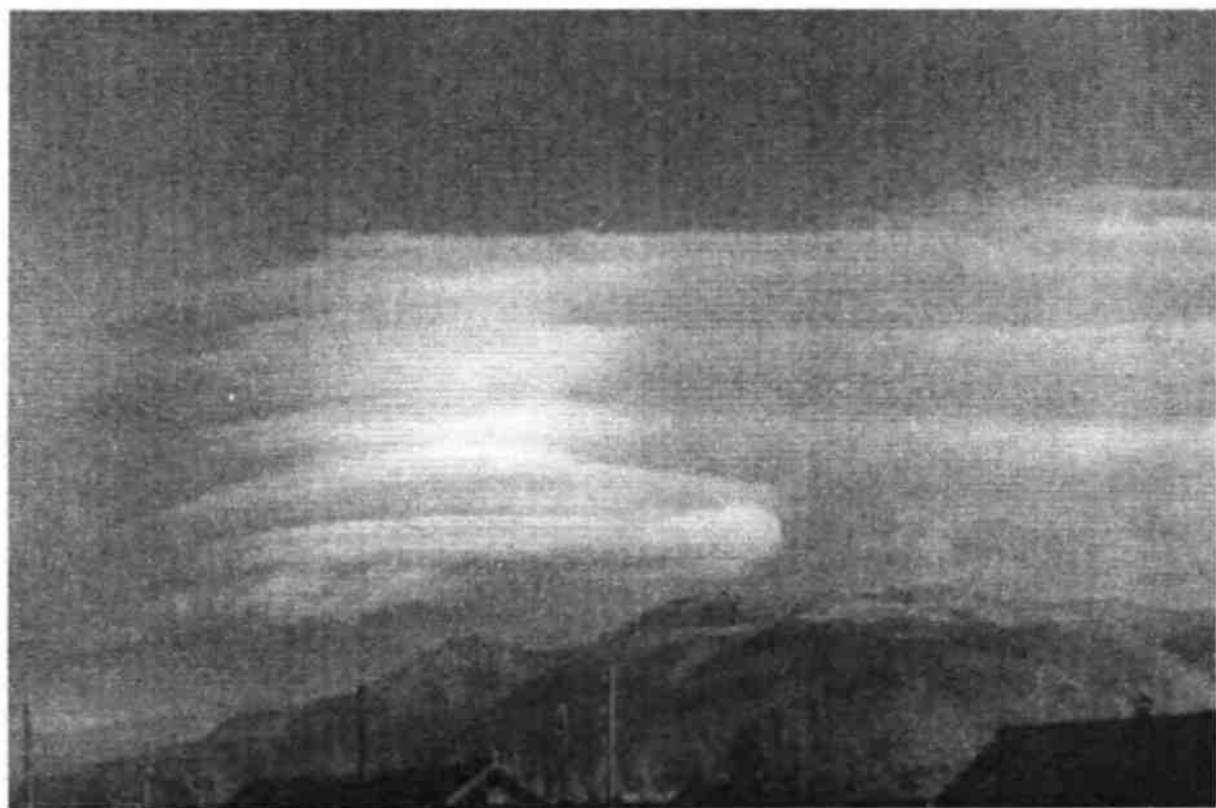
*А.Ю. Гвоздарев, А.Н. Дмитриев\*, А.В.Шитов*

**Горно-Алтайский государственный университет, г.Горно-Алтайск  
\*Институт геологии СО РАН, Новосибирск**

В связи с изучением некоторых особенностей землетрясения 27 сентября 2003 года участниками экспедиции ГАГУ 10 октября 2003 г. в 17 часов из с.Курай было зафиксировано возникновение необычного облака (см. рис. 1, всего было выполнено более десятка фотографий). Облако характеризовалось вертикальным развитием пяти дискообразных слоев, в основании напоминало кучевое. Оно не смещалось с места своего возникновения, было неподвижно, а шлейф справа от него, видимо, возник благодаря ветру, сносящему облачные образования. Через полчаса после обнаружения облако распалось на две части, верхнюю и нижнюю, находящиеся рядом с ним влагонасыщенное облако (серого цвета) исчезло. Однако вскоре облачная структура воссоздалась и приобрела свой прежний вид. Рядом снова возникло серое влагонасыщенное облако, которое постепенно превратилось в дискоидное, но состоящее из трех этажей (на рис. 1б оно видно слева у среза снимка). В этом состоянии облака просуществовали около получаса. Затем дискоидная структура нижних слоев стала разрушаться, при этом на краю диска возникали конвективные зоны, а высота облака - уменьшаться. Постепенно расформировалось влагонасыщенное облако-спутник, исчез шлейф.

После заката Солнца облако с течением времени утратило свой вид, но просуществовало до 23 часов, оставаясь неподвижным несмотря на заметный ветер. Вечером экспедиция остановилась на устье Куютканара, ближе к облаку, и оттуда было хорошо видно, как с одного его края происходит конденсация пара, образующиеся облачные элементы сносятся ветром, а на другом краю они исчезают. Характерно, что в остальных местах после заката Солнца небо было чистое. Неподвижность облака позволила довольно точно сделать его привязку к местности. Для этого были произведены повторные фотографирования: из с.Курай (рис. 1) и с Чуйского тракта (рис.2). В результате было установлено, что ось дискоидной структуры облака находилась на 3 км западнее с. Чаган-Узун. Согласно геоструктурным данным [8], недалеко от этого места проходит Карагемский разлом, поэтому можно предположить, что облако поддерживалось потоком аэрозолей (возможно, радона), поднимающимся из активизировавшегося разлома или другими факторами, связанными с разломом. Заметим, что, согласно [3], наличие радиоактивной примеси способствует пересыщению пара.

Благодаря привязке и обработке снимков было установлено, что конвективная зона начиналась на высоте около 1.5 км над поверхностью земли, нижняя кромка облака находилась на высоте 2 км, а высота дискоидной части облака достигала 3.2 км. Ширина облака в верхней части составляла около 5.2 км, в нижней же части - 6.3-6.5 км. Вполне вероятно, что внутренняя часть облака состояла из переохлажденного пара, а внешние концентрические слои - из снега. Действительно, при сухоадиабатическом охлаждении при подъеме до конвективной зоны пар должен был охладиться на 13 С, при дальнейшем влажноадиабатическом охлаждении при подъеме к вершине облака охлаждение усилилось еще на 22 С. Шлейф облака, образованный в результате сноса облачных элементов ветром, тоже, по-видимому, состоял из снега. Длина образовавшегося шлейфа сноса превышала 10 км, и, распространяясь, он тянулся вдоль долины р. Чаган-Узун вплоть до с. Бельтир и дальше.



а



б

*Рис. 1. Необычное облако, наблюдавшееся экспедицией 10 октября из Курая. а - крупный план (фото Г.А. Шевченко), б - общий вид, слева видна часть еще одного подобного облака (фото М.Г. Суховой)*



*Рис. 2. Вид облака на закате. Снимок сделан с Чуйского тракта.*

#### Встречаемость дискоидных облаков в Горном Алтае

Так как возникновение подобных облаков зачастую свидетельствует о разломной активности [4, 10], то для более полной картины распространенности облачных аномалий был проведен предварительный опрос студентов и аспирантов ГАГУ. Опрос показал, что подобные облака наблюдались в Онгудае, Куладе, Теньге (Онгудайский район), на Семинском перевале, в Кош-Агачском районе, в Монголии, Горно-Алтайске. Ниже приводятся примеры полученных нами описаний.

1. В августе 1995 г. дискоидное двухслойное грибообразное облако сфотографировано группой туристов из Новосибирска на Семинском перевале. Снимок сделан на закате. облако наблюдалось около 15 мин, потом перешло в другую форму. Днем перед этим шел дождь, к вечеру прояснилось.

2. В августе 1998 г. дискоидное облако подобной структуры сфотографировано доцентом каф. геоэкологии ГАГУ А.В. Шитовым вблизи р. Каланегир (Кош-Агачский район). Облако медленно двигалось вдоль долины, постепенно преобразуясь из вытянутого в более круглое в плане. Расстояние до его проекции на землю составляла не более 1 км. Погода была ясная, с легкой облачностью, время наблюдения - около 17 часов.

3. В июле 2001 г. В.В. Скрипко (Алтайский университет) сфотографировал (см. рис. 3) двухслойное облако в Западной Монголии на границе Ховдского и Баян-Улгийского аймаков в зоне активного разлома.

4. В середине августа 2001 г. студент биолого-химического факультета (БХФ) ГАГУ Рогов С. наблюдал дискоидное облако, состоящее из 3-4 слоев над Курайским хребтом. Угловой размер облака около  $40^\circ$ . Погода была солнечная.



Рис. 3. Дiskoидное облако в Монголии, в районе активного разлома. Фото В.В. Скрипко

5. В апреле 2003 г. в километре от с. Кулада дискоидное облако наблюдала доцент каф. физической географии ГАГУ Сухова М.Г. Облако было неподвижно, находилось над горой.

6. В июле 2003 г. около 5 часов утра вблизи Кулады на территории парка "Уч-Энмек" дискоидное облако сфотографировано участниками экспедиции ГАГУ С.Ю. Кречетовой, С.С. Драчевым. Длительность наблюдения - около часа, затем наблюдатели ушли. После появления облака как бы волной облака к северу от него стали преобразовываться в чечевицеобразные, некоторые были двухслойными (всего их было около десяти). К полудню облачность исчезла, вечером была гроза. Экспедицией недалеко от места наблюдения были обнаружены области с аномальными вариациями магнитного поля. На фото, выполненных в это же время, зарегистрированы светящиеся шары, визуально не наблюдавшиеся.

7. В августе 2003 г. двухслойное дискоидное облако дважды наблюдалось в Онгуде, к востоку от него. Верхний слой был "надстроен" над кучевым облаком. Оба раза облако наблюдалось под вечер.

8. 10 февраля 2004 г. аспирантка ГАГУ С.В. Трифанова наблюдала в с. Теньга несколько двухслойных чечевицеобразных облаков над отрогами Семинского хребта. Расстояние до облаков она оценила как 5 км, угловой размер около  $15^{\circ}$ . Ветра не было, облака были неподвижны. С утра была плохая погода, потом разветрило, а во время наблюдения над Теректинским хребтом начал собираться фронт туч. За несколько лет до этого в том же направлении, где находились облака, наблюдался "свет из-за гор".

9. 12 мая 2004 г. между  $12^{00}$  и  $12^{30}$  студенты БХФ ГАГУ Долгов А. и Шелудьков В. наблюдали дискоидные облака в Горно-Алтайске. Одно наблюдалось к югу от университета, имело угловой размер около  $10^{\circ}$ , состояло из двух слоев и дрейфовало к востоку со скоростью около 10 градусов/мин. Другое наблюдалось к западу от г. Тугая, имело красивую сложную структуру, состоящую из 5 слоев, причем один из слоев имел выросты, между которыми размещалось еще одно облако. Размер всей структуры был около  $20^{\circ}$  в ширину и около  $10^{\circ}$  в высоту, само облако было неподвижно. Погода во время наблюдения была солнечная, облачности почти не было. В этот же день около 15 часов наблюдались чечевицеобразные

облака над г. Комсомолка.

10. 14 мая 2004 г. в 18-19 часов студентка БХФ ГАГУ Титова Е., находясь на ул. Трудовой в Майме, в течение часа наблюдала над горой, разделяющей Майму и Горно-Алтайск, четырехслойное облако. Верхние слои были меньшего размера и как бы надстраивались над нижними, причем по правому краю они были смещены точно друг над другом. Облако было неподвижно, несмотря на то, что другие облака двигались. Угловой размер облака был около  $90^\circ$ . Погода была ясная, ветра не было.

Как видно из описаний, наблюдаются дискоидные облака обычно в хорошую погоду. Отмечают, что структурно организованные облака образуются в первую очередь (среди всех прочих), что свидетельствует о действии в данном месте и времени фактора, облегчающего конденсацию воды. Облака зачастую неподвижны или медленно движутся, даже при наличии ветра. Возникновение дискоидных облаков (или их систем) - это прямой и надежный признак активизации процессов вертикального энергоперетока в активных геолого-геофизических зонах [6]. На значительную диагностическую роль облачных аномалий в обнаружении энергоактивных геологических структур и сейсмонагруженных районов указывают результаты работы [1]. Действительно, нами [5], при изучении необычных явлений в атмосфере и ближнем космосе, неоднократно регистрировались дискоидные структуры облаков (в том числе и в юго-восточной части Горного Алтая) иногда достигавших семи слоев. Характерно также, что системы дискоидных облаков часто встречаются на Камчатке, где сотрудники Института вулканологии ДВО РАН учитывают эти образования, как признаки повышения интенсивности вертикального энергоперетока. Прямое подтверждение активизации сети глубинных разломов в устье р. Енисей выявилось появлением системы аномальных облачных образований и развитием энергоемких смерчевых процессов [1].

Отметим также, что наблюдения в Онгудае и Кулале сделаны вблизи Теректинского хребта, по которому проходит Чарышско-Теректинский разлом. Именно с ним связывают эпицентр землетрясения в Кош-Агачском районе. Аномальные облачные образования являются признаком повышенной активности разлома весной-летом 2003 г. Наблюдения в Горно-Алтайске также можно связать с активностью разломов, ясно продемонстрированной зимним толчком с эпицентром в окрестности города. Наблюдения облаков, сделанные в мае 2004 г. говорят об активности разломов вблизи города в настоящее время.

Дискоидные облака как проявления влияния модифицированного физического вакуума. Заметим, что странную форму дискоидных облаков, их устойчивость к ветру невозможно объяснить только привязкой к разлому - этим объясняется лишь их возникновение и неподвижность. В связи с этим полезно рассмотреть содержание устного описания подобного облака, наблюдавшегося на Камчатке.

"Четырехслойное дискоидное облако просуществовало около полутора суток. Длительно оставаясь неподвижным, оно затем стало вращаться, теряя свою слоистость "сплющилось" в один диск, который затем "стянулся" в святающийся шар. Образовавшийся шар с ускорением ушел в небо".

Подчеркнем также, что вращение дискоидного облака нами наблюдалось в верховье р. Бар-Бургазы. Таким образом, согласно имеющимся характеристикам, дискоидные облака могут превращаться в природные самосветящиеся образования (ПСО). Отметим, что в Горном Алтае локализуется региональный максимум встречаемости ПСО [4]. Можно предположить, что необычная форма дискоидных облаков вызвана теми же причинами, что и аномальные свойства ПСО. Видимо, это "слабая" форма самосветящихся образований в ее "дооптической" фазе. Заметим, что свойство оставлять туманный след, вызывать конденсацию не раз наблюдалось у шаровых молний и других форм свечений.

В последнее время свойства природных самосветящихся образований (ПСО) удалось довольно успешно описать моделью неоднородного физического вакуума В.Л. Дятлова [7].

При этом тело ПСО рассматривается как вакуумный домен - область пространства с особыми свойствами, заполненная модифицированным физическим вакуумом (МФВ). В частности, внутри ВД моделью вводится наличие связи между электрической и гравитационной поляризациями, в связи с чем вещественные уравнения записываются в виде

$$D = \epsilon_0 E + \epsilon_1 E_G \quad (1)$$

$$D_G = \epsilon_{0G} E_G + \epsilon_1 E \quad (2)$$

где  $D$ ,  $D_G$  - электрическое и гравитационное смещения,  $E$ ,  $E_G$  - электрическое и гравитационное поля,  $\epsilon_0$  - электрическая проницаемость вакуума,  $\epsilon_{0G} = 1/(4\pi G) = 1.193 \cdot 10^9$  кг  $c^2/m^3$  - гравитационная проницаемость вакуума,  $G = 6.672 \cdot 10^{-11}$  м<sup>3</sup>/(кг·с<sup>2</sup>) - гравитационная постоянная,  $\epsilon_1$  - коэффициент электрогравитационной связи в модифицированном физическом вакууме (МФВ). При  $\epsilon_1 = 0$  эти уравнения переходят в обычные. Для характеристики МФВ

вводится параметр  $a_\epsilon = \frac{\epsilon_1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_{0G}}}$  - степень модификации вакуума по электрогравитационной связи, который мыслится как доля связанных диполей в вакууме (он принимает значения от 0 до 1).

Согласно уравнению (1), внутри вакуумного домена, находящегося в гравитационном поле Земли  $E_{0г}$ , должна возникать электрическая поляризация модифицированного физического вакуума (МФВ). При этом на границе ВД возникают связанные заряды МФВ (подобно тому, как возникают связанные заряды на поверхности диэлектрика). В естественных условиях к этим зарядам должны притягиваться ионы, компенсируя их заряд. Эти ионы, присоединяясь к зарядам МФВ, резко снижают свою способность к рекомбинации. В результате возникают условия для формирования "холодной плазмы", в которой ионы могут устойчиво сохраняться длительное время. В случае, если степень модификации вакуума в пространстве рядом с ВД нарастает постепенно, должно возникать пространственное распределение связанного заряда, и в переходном слое ВД формируются достаточно большие области холодной плазмы, обладающие высокой проводимостью. Необходимо подчеркнуть, что само наличие феномена холодной плазмы в природе доказано наблюдениями [4,7]. Пожалуй, наиболее известным примером из этой области может являться шаровая молния.

В [6] рассмотрено распределение ионов в плоском слое МФВ с переходной зоной толщиной  $h$  и сделаны оценки максимальной концентрации ионов в переходном слое ВД

$$n_{\max} = \epsilon_0 a_{\text{опт}} \eta_0 E_{0G} / hq = 6.3 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-2} \times \text{grad } a_\epsilon \quad (3)$$

При  $\text{grad } a_\epsilon = 10^{-10} \text{ м}^{-1}$  получаем  $n_{\max} \approx 6.3 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$ , что по порядку величины совпадает с обычной концентрацией ионов у поверхности Земли - то есть при таких и более высоких значениях  $\text{grad } a_\epsilon$  в переходном слое ВД становится заметен в ионных концентрациях. Необходимо отметить, что это довольно низкое значение. Таким образом, ВД с обширными переходными зонами могут рассматриваться как источник дополнительной ионизации в атмосфере (а также в жидкой и твердой фазах геосферы). Наиболее важным явлением, на которое может влиять такая ионизация, является образование осадков.

Согласно [9] давление насыщенного пара над поверхностью заряженного ядра конденсации уменьшается с ростом ее заряда. Поэтому зарядка ядер конденсации способствует пересыщению пара и усиливает процесс его конденсации. При этом для получения дополнительного пересыщения, достаточного для увеличения концентрации капель на несколько процентов, на ядрах радиусом порядка 0.1 мкм необходимо создать заряд  $Z \approx 300e$ , а на ядрах радиусом 0.05 мкм - заряд  $Z \approx 75e$  [3]. Следуя подходу, развиваемому авторами этой работы, можно показать, что равновесный заряд ядра конденсации зависит от отношения

$n_+, n_- / n_+$ , где  $n_+$ ,  $n_-$  - концентрации, а  $u_+$ ,  $u_-$  - подвижности положительных и отрицательных носителей заряда. Заметим, что в случае "холодной" плазмы в переходных слоях ВД достигается значительное различие концентраций ионов разных знаков, и реализуется ситуация, наиболее благоприятная для быстрой зарядки ядер конденсации. Таким образом, переходные зоны ВД можно рассматривать как зоны ускоренной конденсации водяного пара. Такая постановка вопроса позволяет рассматривать усиление облакообразования над сейсмическими разломами [10] как проявление повышенной степени модификации вакуума вблизи разломов, а не только как следствие их аэрозольной активности.

Из модели следует, что слой МФВ должен формировать две области "холодной" плазмы - выше и ниже него, причем в них должны накапливаться ионы разного знака. В этом случае при начале конденсации такие слои должны формировать двухслойные облака. Пример такого облака над г. Белуха показан на рис. 4. Заметим, что Белуха является местом частой встречаемости ПСО, службами ПВО при помощи радиолокаторов здесь неоднократно фиксировались "нештатные цели" размером до нескольких километров, что с нашей точки зрения свидетельствует о наблюдении над ней облаков "холодной плазмы". Согласно [2], минимально обнаружимая при радиолокации концентрация ионов составляет  $10^{12}-10^{14} \text{ м}^{-3}$ . Как видно из (3), обнаружение внешней оболочки ПСО радаром, неоднократно отмеченное [4], возможно при  $\text{grad } a \approx 10^{-6}-10^{-4} \text{ м}^{-1}$ .

На рис. 1 видно, что каждый слой обоих дискоидных облаков, наблюдавшихся нами в Курае, состоит из двух подслоев. С точки зрения развиваемой нами модели это означает, что каждый слой представляет собой вакуумный домен. Возможно, в данном случае мы наблюдали ВД со сложной многоэтажной или спирализованной структурой.

Как видно из описаний, наиболее часто двухслойные и дискоидные облака наблюдаются при ясной погоде и низкой влажности воздуха. Это связано с тем, что, в этом случае конденсация пара происходит только в переходных зонах ВД, так как лишь там будет достигнуто достаточное для этого пересыщение. При дальнейшем увеличении влажности воздуха ВД может "спрятаться" внутри образованного им облака. В этом случае структуру ВД можно увидеть только с помощью ветра - он сносит облачные элементы, "обнажая" области их образования (видимо, так было и в описанном нами случае). При высокой влажности конденсация происходит уже повсеместно, и наблюдение ВД по образуемым им облакам становится невозможным.



Рис. 4. Двухслойное облако над г. Белуха



ПСО неоднократно наблюдались перед, во время и после землетрясений, они вошли в разряд предвестников сейсмических толчков [1,10]. Известно, что наиболее часто они встречаются в разломных зонах. Более подробная проработка вопроса на территории Алтая обнаружила антикорреляционную связь встречаемости ПСО и сейсмических событий [4], в связи с чем была выдвинута гипотеза о возможности разгрузки сейсмического очага путем генерации ПСО. В таком случае, основываясь на связи дискоидных облаков с ПСО, можно рассматривать их как свидетельство разгрузки сейсмического напряжения. Правда, это утверждение пока что имеет чисто теоретический характер и нуждается в проверке на основе наблюдений.

Таким образом, появление дискоидных облаков является признаком активности разломов. По наблюдениям аномальных облачных структур можно выявить и активизировавшиеся разломы, и появление вакуумных доменов. Это может быть использовано в мониторинге сейсмического состояния Алтая. Требуется проведение дальнейшей работы по сбору информации об их наблюдениях на территории республики и последующий анализ.

### **Выводы**

1. Работами сотрудников ГАГУ было зафиксировано появление дискоидных облаков в эпицентральной зоне Алтайского (Чуйского) землетрясения. Как показал опрос, подобные облака в разные годы наблюдались также на Семинском перевале, на р. Каланегир, в селах - Куладе, Онгудае, Теньге, г. Горно-Алтайске, в Монголии.

2. Появление дискоидных облаков является признаком вертикальных энергоперетоков в зоне повышенной активности разломов. Их систематическое наблюдение может быть использовано для мониторинга энергетического и сейсмического состояния геологических структур Горного Алтая

3. Необычная форма дискоидных облаков может быть связана с проявлением свойств модифицированного физического вакуума, проявляющегося в тектонофизически напряженных зонах и свидетельствующем об энергетическом неравновесии в межгеосферных связях.

### **Благодарности**

Авторы благодарят участников экспедиции ГАГУ и всех, кто предоставил описания и фото наблюдавшихся ими дискоидных облаков, а также В.Л. Дятлова, С.Г. Платонову, М.Г. Сухову - за полезное обсуждение вопроса.

### **Литература**

1. Абрамов В.А. Смерчи над Владивостоком // Вестник ДВО РАН, 1998, №2. - С.3-22.
2. Боярчук К.А., Кононов Е.А., Ляхов Г.А. Радиолокационное обнаружение областей локальной ионизации в приземных слоях атмосферы // Письма в ЖТФ. - 1993. - Т. 19, вып. 6. - С.67-73.
3. Григорьев В.П., Протасевич Е.Т. Использование электромагнитного излучения и плазмы для решения экологических проблем. - Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 1998. - 204 с.
4. Дмитриев А.Н. Природные самосветящиеся образования. - Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1998. - 243 с. - (Серия "Проблемы неоднородного физического вакуума")
5. Дмитриев А.Н., Белоусов А.Ф. Изучение глубинных особенностей Горного Алтая // Природные ресурсы Горного Алтая. Горно-Алтайск, ГАГУ, "Универ-Принт", 1997. С.6-85.
6. Дмитриев А.Н., Дятлов В.Л., Гвоздарев А.Ю. О возможном воздействии природных самосветящихся образований на энергосети // Наука, культура, образование - Вып. 15/16. - Горно-Алтайск; Париж, 2004 -
7. Дятлов В.Л. Поляризационная модель неоднородного физического вакуума - Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1998. - 184 с. - (Серия "Проблемы

- неоднородного физического вакуума")
8. Кузубный В.С. Магматические формации Юго-Западного Алтая. Алма-Ата: Наука, 1975. - 342 с.
  9. Лсонтгович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. - М.: Наука, 1983. - 316 с.
  10. Морозова Л.И. Динамика облачных аномалий над разломами в периоды природной и наведенной сейсмичности // Физика Земли, 1997, №9. - С.94-96.

# МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ АЛТАЙСКОГО (ЧУЙСКОГО) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

*\*А.Н.Дмитриев, А.В. Шитов, А.Ю. Гвоздарев*

**\*Институт геологии СО РАН, г.Новосибирск  
Горно-Алтайский государственный университет, г. Горно-Алтайск**

27 сентября 2003 года на территории Кош-Агачского района произошло сильное землетрясение (магнитуда  $M=7.5$ ), которое произвело значительные разрушения в селах Бельтир, Чаган-Узун, Ортолык, Курай, Акташ. Землетрясение связано с активизацией сейсмической деятельности на оперяющем разломе Карагемского разлома. В настоящее время известно, что землетрясение произошло на месте более раннего сейсмического события, и новые разломы и трещины прошли вблизи уже имеющихся следов палеоземлетрясения.

В 2002 г. Алтае-Саянской опытно-методической сейсмологической экспедицией был дан прогноз о возможном землетрясении на Алтае в ближайшие годы. Однако краткосрочный прогноз (за месяц, за два-три дня) не был дан. Между тем, землетрясению предшествовал целый ряд разнообразных предвестников:

- \* изменение уровня и состава подземных вод (зарегистрированы "Алтайгео" и НИХЭЛ);
- \* появление за несколько месяцев до землетрясения вариаций объемной активности радона (зарегистрированы радиологической лабораторией РесЦГСЭН);
- \* отмечались многочисленные подвижки оползней (зарегистрированы "Алтайгео");
- \* незадолго перед землетрясением местные жители наблюдали необычное поведение животных;
- \* в день землетрясения у жителей с.Бельтир появилась сильная усталость, вялость, недомогание.

Также в день землетрясения был отмечен ряд необычных явлений: свечения, огненные шары; густой туман в районе эпицентра; "заревело" оз. Огырак-Кель в Бельтире, что, видимо, связано с сильным газовыделением из-за динамического поджатия горных пород. Необходимое сопоставление всех этих фактов и их детальный анализ может облегчить решение задачи прогнозирования времени и места землетрясения.

При этом возможны прогнозы:

- за месяц-два - по геологическим подвижкам, изменению активности радона, уровня динамики и состава подземных вод, и
- за день-два - по геофизическим, психофизическим, биологическим и метеорологическим предвестникам, взятым в комплексе.

Установленным фактом считается влияние процессов, сопровождающих подготовку землетрясения, на характер и динамику метеопроцессов. Известно, что активизация разломов сопровождается усилением облакообразования над ними [6]. Например, работами исследователей из МГУ на основе анализа данных с 1936 по 1981 гг. было установлено, что за 3-5 дней до землетрясений в Крыму появляется облачность с бальностью 8-10 [1]. В зимние месяцы (декабрь, январь) также за 3 дня до землетрясения начинается аномальное понижение температуры относительно среднего уровня, достигающее максимума в день землетрясения (до  $-4^{\circ}\text{C}$ ). За 9-10

дней до землетрясения наблюдается повышение температуры на 2-3°C [2].

Подобных исследований на Алтае не проводилось. Однако, судя по словам очевидцев, 27 сентября в Бельтире также наблюдалась не характерная для этого места и времени погода. В течение всего дня наблюдался густой туман, низкая облачность (примерно 10 баллов). Во второй половине дня подул резкий, шквальный ветер. Землетрясению предшествовала резкая смена погоды. Все небо закрыли темные облака, опустился туман, было похоже, что вскоре выпадет снег. А случайные наблюдатели со стороны С.Курай и с.Чаган-Узун в этот день наблюдали "летающие на юг большие звездочки" и "какие-то зарницы". Эти, к сожалению разрозненные и строго не зафиксированные данные, напоминают аэрономические явления на о.Шикотан [5].

С 24 сентября и до основного толчка (27 сентября), а также на протяжении длительного времени (и до настоящего времени) происходило и происходит образование туманов, которые движутся из долин р. Талдуру и р. Чаганка в сторону с.Бельтир, к месту их слияния. Туманы, возможно, имеют радиационное происхождение, что нехарактерно для данного места, и что требует обязательного их изучения, так как они могут иметь значение, как местные предвестники нарастающей сейсмоактивности.

На количественный и качественный характер изменения метеопараметров не в малой степени влияют геолого-геофизическое строение подстилающей поверхности, а также, выявленная нами гелиочувствительность Горного Алтая. Территория Горного Алтая чутко реагирует на солнечную активность, которая в свою очередь является одним из регуляторов климата [3].

В ряде работ [5,6,7] путем сопоставления геологических факторов и анализа их энергетического вклада определяется заметная роль интенсивных динамических процессов, возникающих при землетрясениях. Учитывая существующую динамику аэрозолей, происходящую при землетрясениях, было интересно рассмотреть вопрос реагирования удаленных от гипоцентров участков земной коры.

Не редко перед землетрясениями и после них наблюдается выход из земли в атмосферу водорода и радона. Рост концентрации радона после землетрясения обусловлен образованием трещин и вибрациями среды при основном подземном толчке и афтершоках [10,11]. Выход радиоактивного радона из земли приводит к дополнительной ионизации воздуха продуктами радиоактивного распада радона, что ведет, в свою очередь к росту концентрации ионов. Вследствие этого, в окрестности эпицентра возможно увеличение атмосферной проводимости и уменьшение электрического поля. Согласно расчетам [9] рост электропроводности атмосферы перед землетрясением при ясной погоде может достигать до 20% днем и до 40% ночью, таким образом, изменяется качественный и количественные характеристики атмосферы, что, в свою очередь, не может не влиять на грозовые процессы.

Кроме этого, существует предположение [8,12], о возможности быстрых вариаций механических и пьезоэлектрических напряжений, которые создадут условия для генерации электромагнитных волн. Эти волны будут распространяться к поверхности вдоль разломов, связанных с очагом землетрясения, причем разломы будут играть роль своеобразных волноводов [7] и передавать энергию и вещество на расстояние [4].

Для изучения характера изменения метеопараметров во время землетрясения нами были отобраны и проанализированы данные Горно-Алтайского Центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Были учтены суточные данные по температуре, давлению и влажности по двум ГМС: Горно-Алтайск и Кош-Агач.

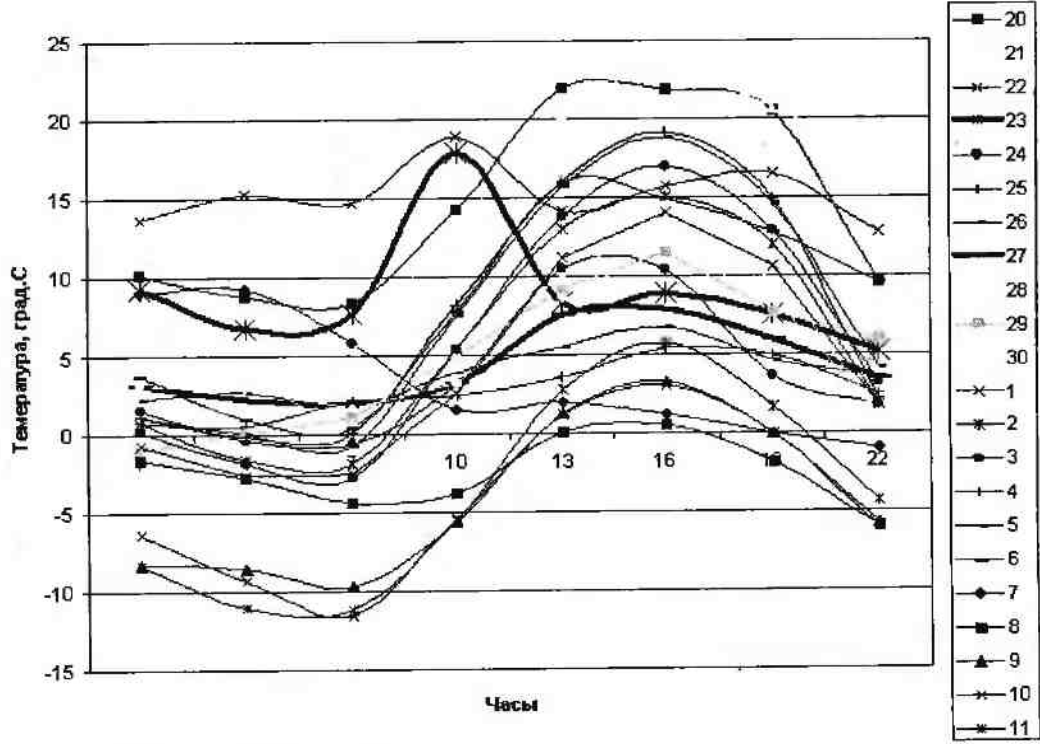


Рис. 1. Суточное изменение температуры во время землетрясения (ГМС Горно-Алтайск) за 20.09 - 11.10.03 г.

На графике рис.1. отчетливо проявляется общий суточный тренд изменения температуры за все время наблюдения. Исключением является числа 22 и 23.09.03 г., нарушающие суточные характеристики тренда температуры. Показательно также, в смысле значительной модификации фоновых характеристик метеопараметров, существенное снижение среднесуточных температур 25 и 26.09.03 г., т.е. в сроки непосредственно перед землетрясением.

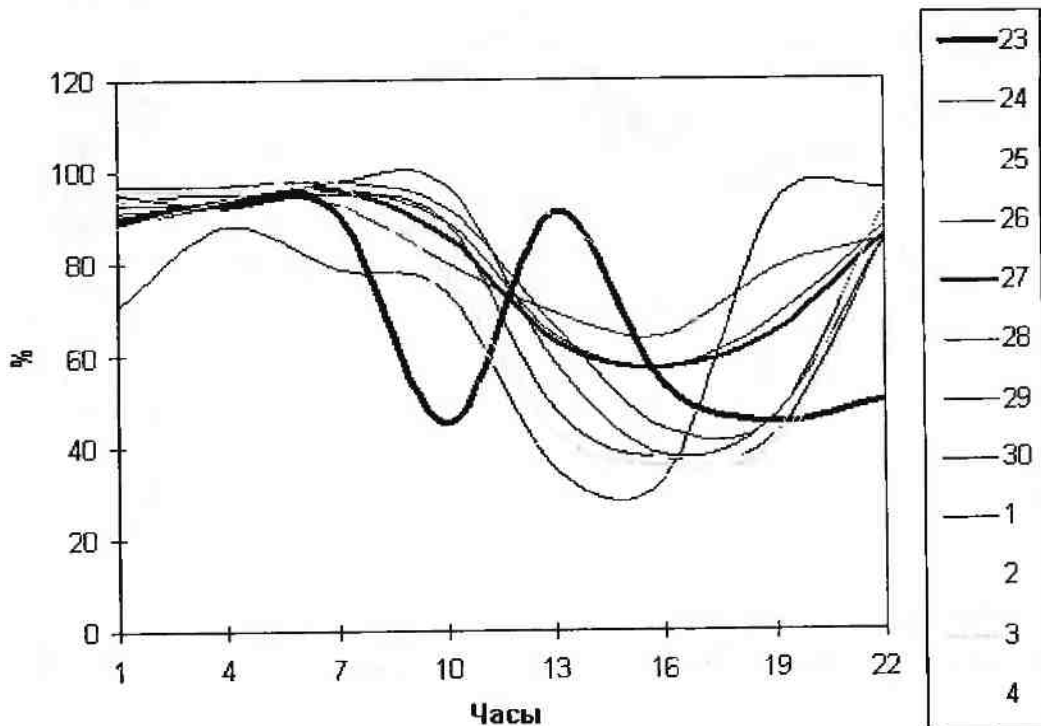


Рис. 2. Суточное изменение влажности во время землетрясения (ГМС Горно-Алтайск) за 23.09.-4.10.03 г.

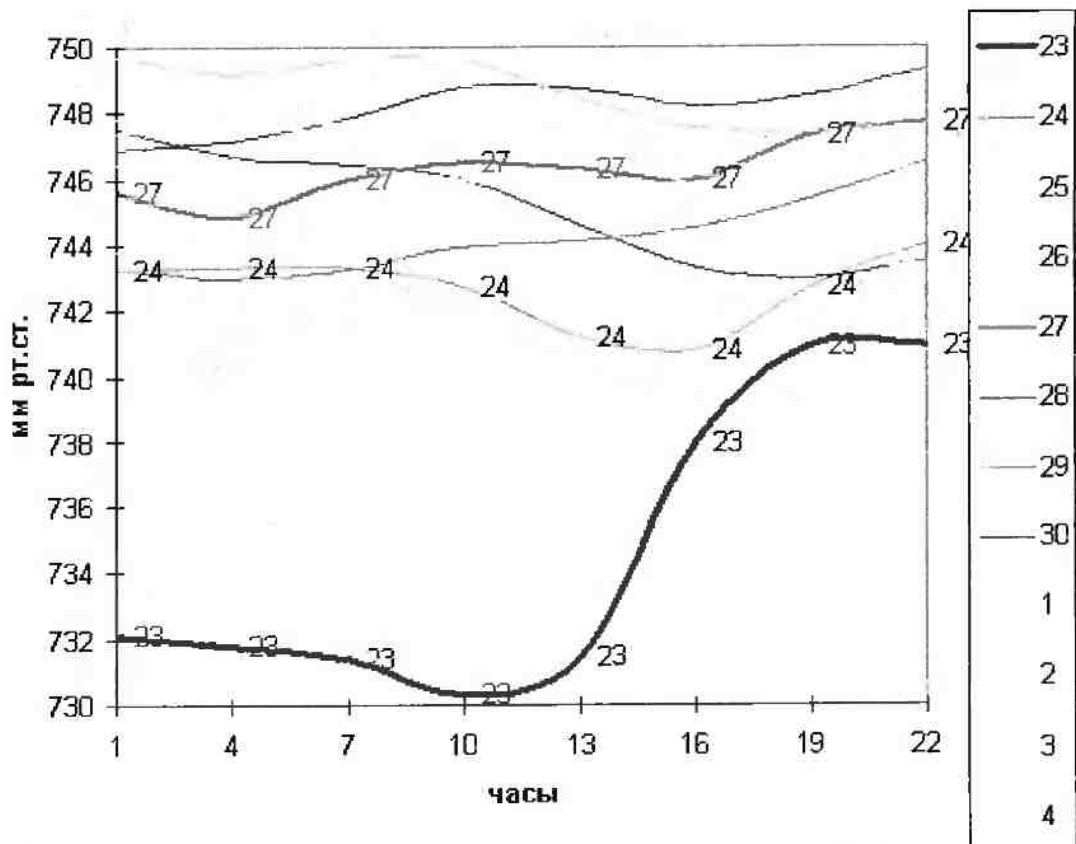


Рис.3. Суточное изменение давления во время землетрясения (ГМС Горно-Алтайск) за 23.09.-4.10.03 г.

По данным ГМС Кош-Агач получается сходная картина по изменению температуры, давления и влажности.

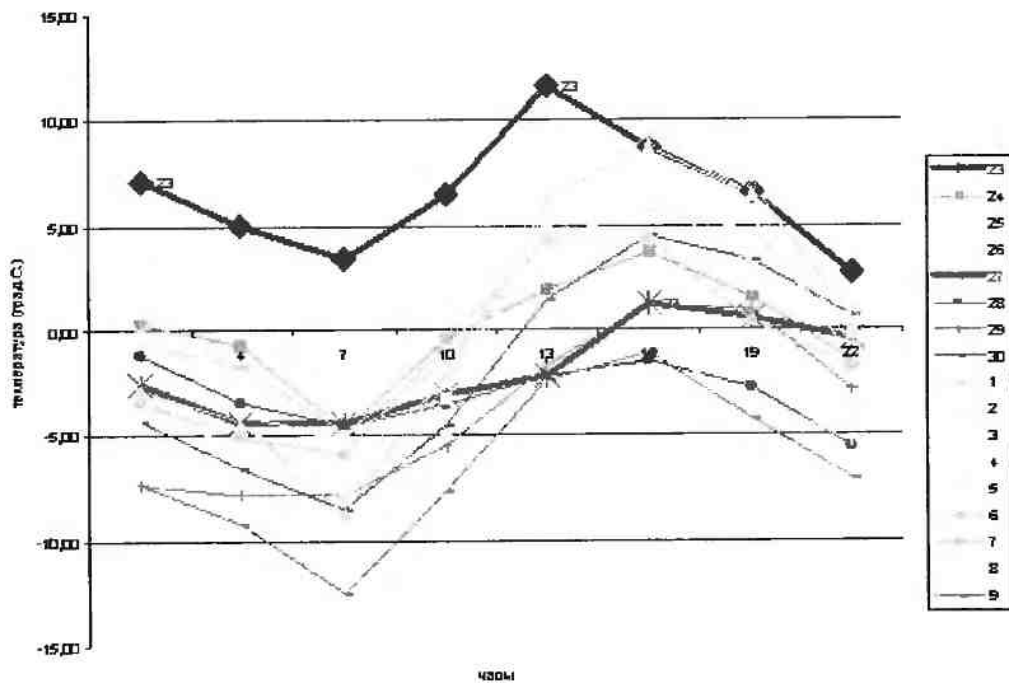


Рис.4. Динамика изменения температуры во время землетрясения (ГМС Кош-Агач) 23.09.-9.10.03г.

Еще в 80-х годах выявлено [Садовский, Баннов, Мирзоев, 1985] что практически каждому

землетрясению предшествует сбой равновесия функций температура-давление. Отмечено, что сбой равновесия функций температура-давление встречается как положительного, так и отрицательного знака, т.е. в некоторых случаях происходит избыток, а в других - недостаток давления атмосферы.

Анализ характеристик давления и влажности за изучаемый период (рис.3, 4) показывает аномальное изменение этих параметров 23.09.03 г., что свидетельствует о том, что землетрясения представляют собой наиболее энергоемкую и разрушительную часть комплексной системы процессов геолого-геофизической среды. Следовательно, атмосфера является более динамичной и чувствительной средой к предшествующим землетрясениям явлениям, отражая даже удаленные землетрясения.

Таким образом, метеопараметры, в комплексе с другими показателями, можно использовать для системы прогноза землетрясений на территории Горного Алтая. Все выше перечисленные явления требуют дальнейшего детального изучения и мониторинговых исследований. Необходима организация сети стационарных метеопунктов, хотя бы по сельским администрациям Кош-Агачского и Улаганского районов.

### Литература

1. Бибилова Т.Н., Проскуракова Т.А., Журба Е.В., Алексеев В.А. Уточнение мест тектонических разломов по натурным измерениям облачности // 3-я Всероссийская научная конференция "Физические проблемы экологии (Экологическая физика)" (22-24 мая 2001 г., Москва). - Тезисы докладов. - Москва, МГУ, 2001. - С.120.
2. Бибилова Т.Н., Рембовская Е.С., Проскуракова Т.А., Журба Е.В., Алексеев В.А. Связь вариаций температуры и сейсмичности в районе полуострова Крым // 3-я Всероссийская научная конференция "Физические проблемы экологии (Экологическая физика)" (22-24 мая 2001 г., Москва). - Тезисы докладов. - Москва, МГУ, 2001. - С.119.
3. Дмитриев А.Н., Кочеева Н.А., Шитов А.В. Анализ грозовой активности Горного Алтая. Новосибирск - Горно-Алтайск. ГАГУ "Универ-Принт", 2002. - 40 с.
4. Дмитриев А.Н., Шитов А.В., Кочеева Н.А., Кречетова С.Ю., Кречетова М.Ю. Изучение влияния землетрясений на грозовую активность Горного Алтая // Природные ресурсы Горного Алтая Бюллетень Горно-Алтайского регионального отделения Российского геологического общества. №1, 2004. С. 68-71.
5. Моргунов В.А. Электрические явления, предшествовавшие Шикотанскому землетрясению и его афтершокам // Докл. РАН. 1998. Т.359, №1. - С.102-105.
6. Морозова Л.И. Динамика облачных аномалий над разломами в периоды природной и наведенной сейсмичности // Физика Земли. 1997, №9. - С.94-96.
7. Садовский М.А., Баннов Ю.А., Мирзоев К.М., негматуллаев С.Х. Явление сбоя температуры и давления в атмосфере и замкнутых объемах перед землетрясениями. Прогноз землетрясений, 1985. №6. С. 242-266.
8. Сурков В.В. Электромагнитные эффекты при землетрясениях и взрывах. М.: МИФИ. 2000. 448 с.
9. Kingsley S.P. On the possibilities for detecting radio emissions from earthquakes // II Nuovo Cimento. 1989. Vol. 12C. N1. P.117-120.
10. Pierce E.T. Atmospheric electricity and earthquake production //
11. Thomas D. Geochemical precursor to seismic activity // Pure Appl. Geophys. 1988. Vol.126.N2-4. P.241.
12. Wakita H., Nakamura Y., Sano Y. Short-term and intermediate-term geochemical precursors // Pure Appl. Geophys. 1988. Vol.126.N2-4. P.267-278.
13. Yoshino T., Tomizawa I. LF seismogenic emissions and its application on the earthquake production // The Technical Report of Institute of Electronic Information and Communications. Tech. Report EMCJ 88-64. 1988.

Горно-Алтайский государственный университет, г. Горно-Алтайск

Штормглас - наиболее древний физико-химический тест, реагирующий на изменения погоды и солнечной активности [1]. Он применялся на флоте в XVIII-XIX веках (а возможно, и ранее) для предсказания погоды. Показаниями служила качественная картина кристаллизации, наблюдаемая в отпаянной стеклянной трубке, в которую помещался водно-спиртовой раствор калийной селитры, хлорида аммония и камфары. К хорошей погоде кристаллы выпадали, к плохой - заполняли всю трубку при той же температуре. Несомненным преимуществом данного метода являлось полная автономность работы прибора в течение многих десятилетий (а барометров тогда еще не было). В XX веке этот тест привлек внимание исследователей тем, что в ряду прочих (тесты Бортельса, Пиккарди, акрилонитриловый, унитиоловый) он, как оказалось, реагирует на солнечную активность. В данной работе приводятся результаты анализа реакции штормгласа на сейсмические события.

Образец штормгласа был любезно предоставлен автору новосибирским биофизиком В.А. Гусевым. Образец представлял собой запаянную колбу высотой 30 см, на 80% заполненную раствором. Нижняя часть колбы была заполнена осадком из кристаллов белого цвета. К сожалению, рецепт приготовления раствора для этого образца в настоящее время утерян, можно только предположить довольно высокое содержание в нем камфары на основании характерного коричневого цвета. Поиск в интернете и обращение к одной из специалистов по гелиочувствительным физико-химическим тестам Л.П. Агуловой (г. Томск) позволили собрать некоторую "коллекцию" таких рецептов.

**Рецепт № 1.** В 19.5 г спирта (можно древесного или денатурированного) развести 4.4 г камфары; отдельно в 16 г дистиллированной воды растворить 2.3 г селитры и 2.3 г нашатыря. Когда растворы станут совершенно прозрачными, второй раствор влить в первый. Жидкость тотчас же замутится белыми хлопьями, и её надо сильно встряхивать. Этой жидкостью наполнить пробирку на 4/5 высоты.

**Рецепт № 2.** 3.5 г камфары, 2.6 г селитры и 1.8 г нашатыря растворить в 71 г хорошего (?) спирта. Такая порция рассчитана на пробирку длиной 12 дюймов и шириной в 3/4 дюйма.

**Рецепт № 3** из книги А. Делениуса "30 000 новейших открытий, рецептов и общеползных практических сведений" (Москва, 1885 г.). 1/2 лота камфары, 1/8 лота селитры, 18 лота нашатыря. Каждый из этих веществ распускается отдельно в хлебном вине (в старину так называли водку). Только камфара растворяется медленней, поэтому её нужно в процессе растворения подогревать на лёгком огне или же опускать в сосуд с тёплой водой. Когда все вещества распущены, тогда всю массу нужно смешать и слить в продолговатый сосуд из чистого прозрачного стекла, осторожно закупорить и запечатать сургучом.

**Рецепт № 4.** В небольшой прозрачной склянке (15-20 мл) тщательно смешайте 2 г нитрата калия, 2 г хлорида аммония и 2,5 мл воды, после чего добавьте 9 мл камфорного спирта и герметично запечатайте склянку.

**Рецепт № 5** (предоставлен Л.П. Агуловой, Томск) 1) Стеклянная, запаянная с одной стороны трубка длиной  $L=30,48\text{см}$ , диаметром  $D=1,905\text{см}$   $L/D=16$  (Это важное соотношение!) 2) D-изомер (тоже важно!) камфары ( $C_{10}H_{16}O$ ) - 7.770 г; Калиевая селитра ( $KNO_3$ ) - 5.8275 г; Хлористый аммоний ( $NH_4Cl$ ) - 3.885 г; Спирт этиловый (100%) - 63,785 мл при температуре  $16,60^\circ\text{C}$  (100г 1% этанола  $C_2H_5OH$  + 103,1г воды). Когда раствор будет готов, трубка запаявается с другого конца.

Для повышения температурной стабильности пробирка была помещена в полторалитровую пластиковую бутылку с водой. На поверхность пробирки была приклеена миллиметровая шкала для измерения количества осадка и уровня кристаллов.



Заметной реакции на погоду обнаружить не удалось, что, возможно связано с неоптимальным приготовлением раствора (другие образцы штормгласса, которые довелось видеть автору, коричневой окраски не имели). Однако после толчка 27 сентября 2003 г. пробирка заросла кристаллами до отметки 170 мм. После этого были налажены ежедневные измерения количества осадка и температуры воды в термостате. Было обнаружено, что за день до толчка уровень кристаллов сильно растет, убывая потом по экспоненте с характерным временем спада около 3 сут. Была выявлена и реакция на магнитные бури - при этом уровень осадка рос примерно на 10 мм. По данным за спокойные дни была рассчитана зависимость уровня осадка от температуры (см. рис. 1) и рассчитана реакция штормгласса на сейсмические возмущения. Она приведена на рис. 2. На графике видны реакции на толчки 1 октября, 17 октября, 23 октября, 6 ноября. Рост кристаллов начался за сутки перед толчками 17.10, 23.10, 6.11 что позволяет рассматривать этот тест как краткосрочный предвестник сейсмических событий. Магнитные бури происходили 23.10, 25-27.10, 28-30.10, 11.11.

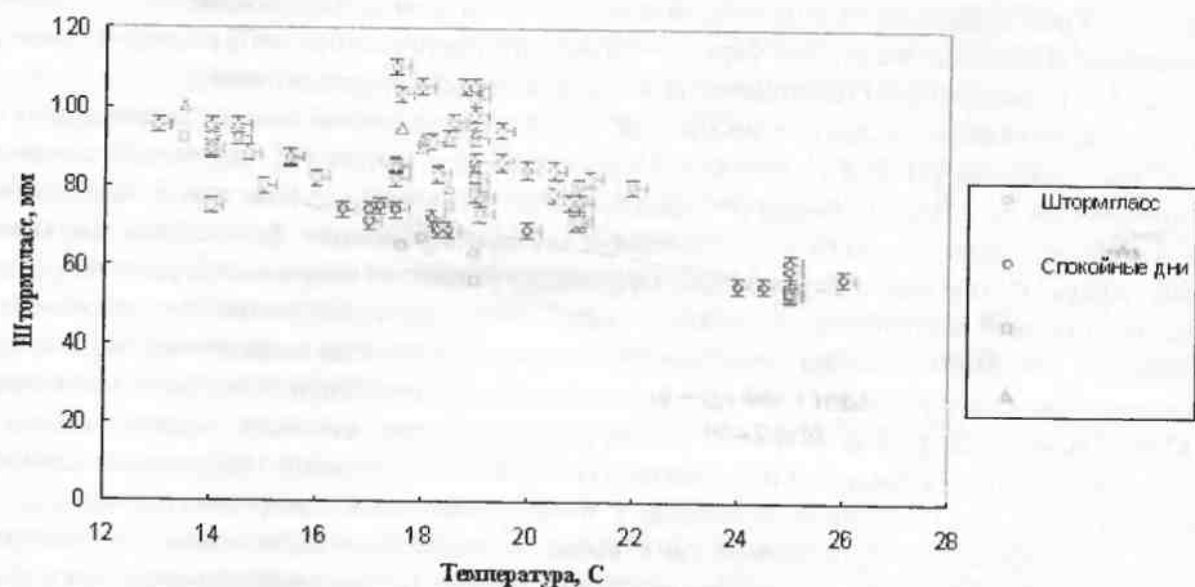


Рис. 1. Температурная зависимость количества осадка

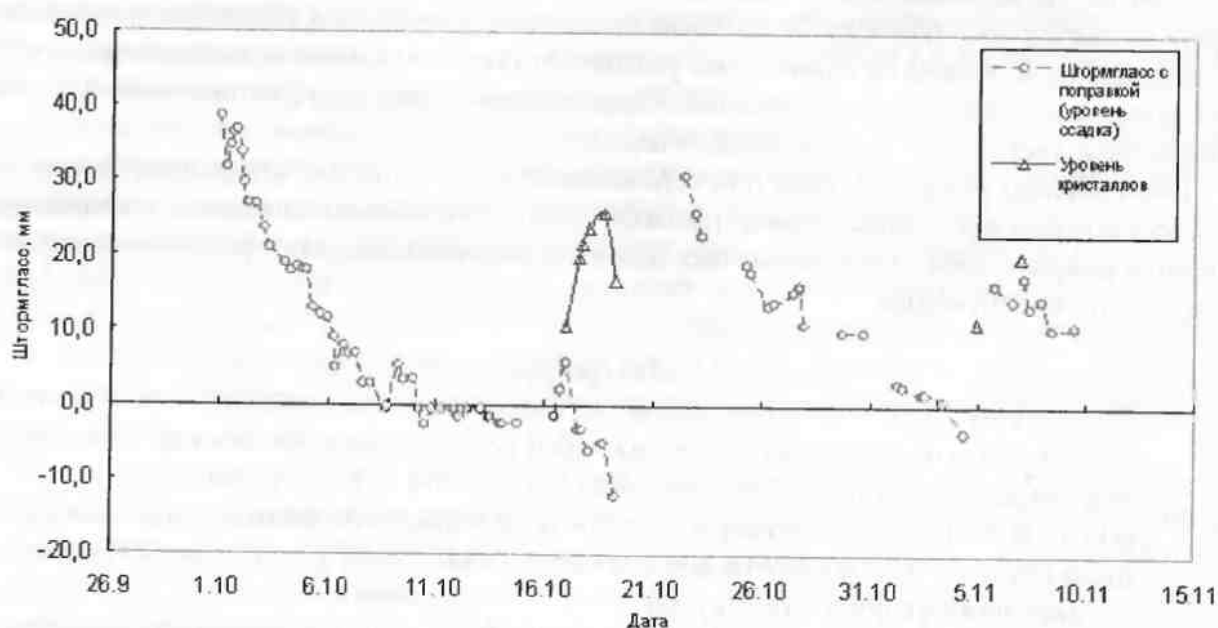


Рис. 2. Реакция штормгласса на сейсмические события и магнитные бури (за вычетом температурной зависимости). Реакция на первый толчок 27 сентября 2003 не показана, она составила около 100 мм.

Действующий фактор, влияющий на рост кристаллов, до сих пор остается загадкой. Действительно, давление не может оказывать на него влияния, так как пробирка запаяна. Как видно из графика температурной зависимости количества осадка, температура не является единственным фактором, влияющим на него. По свидетельству В.А. Гусева при термостабилизации пробирки с точностью до десятых долей градуса уровень кристаллов все равно менялся под действием какого-то неясного фактора. Более ранними работами [1] показано, что реакция штурмгласса имеет сезонный и суточный ход, изменяется при экранировании металлом, реагирует на прохождение метеорологических фронтов и появление пятен на Солнце.

Считается, что этим действующим фактором является инфранизкочастотное переменное магнитное поле. Действительно, хорошо известно, что сейсмические события сопровождаются генерацией таких полей, также возникают они и при геомагнитных бурях. Для них не является преградой стекло колбы, и они легко проникают внутрь нее. Правда, не совсем ясно, как они влияют на кристаллизацию. Кроме того, можно было бы в этом случае ожидать гораздо более выраженной реакции на магнитные бури, тем более, что конец октября 2003 г. сопровождался рекордными геомагнитными событиями, на Алтае отмечались полярные сияния.

Вторая возможность, несколько необычная, вытекает из развития модели неоднородного физического вакуума [2]. Как отмечалось в статье в этом сборнике [3], вакуумный домен в гравитационном поле Земли приобретает электрическую поляризацию. При этом в переходном слое вакуумного домена возникают связанные с модифицированным физическим вакуумом (МФВ) заряды. К этим зарядам притягиваются ионы, и в результате на границе ВД формируются области с высокой концентрацией ионов, которые могут быть достаточно протяженными. Подчеркнем, что МФВ способен легко проникать через твердые тела и жидкости, где под его влиянием также будут возникать повышенные концентрации ионов или свободных радикалов.

Как отмечает Л.Д. Кисловский, ключевой особенностью всех упоминавшихся гелиогеофизических физико-химических тестов является именно появление центров кристаллизации или свободных радикалов. С позиции модели неоднородного физического вакуума это означает, что при сейсмических событиях, магнитных бурях происходит выброс МФВ, который и приводит к увеличению концентрации ионов, являющимися центрами кристаллизации в жидкости.

Заметим, что подобное воздействие гипотетический фактор должен оказывать и на воздушную среду биологических объектов. Повышение концентрации свободных радикалов в организме должно влиять на многие биохимические реакции, что может сказаться на здоровье человека и животных во время и после землетрясения. Характеристикой такого воздействия может служить штурмгласс. Тест дешев, удобен в использовании.

Таким образом, обнаружено действие сейсмических событий на тест штурмгласс. За день до толчка усиливается рост кристаллов из раствора. Это явление может быть вызвано повышением уровнем инфранизкочастотных магнитных полей или модифицированного физического вакуума в результате землетрясения.

### Литература

1. Кисловский Л.Д. О роли воды в первичных механизмах воздействия гелиогеофизических факторов на простейшие модели живых систем // Электромагнитные поля в биосфере, - М.: Наука, 1984. - Т. 1. - С. 240-245.
2. Дятлов В.Л. Поляризационная модель неоднородного физического вакуума - Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1998. - 184 с. - (Серия "Проблемы неоднородного физического вакуума")
3. Гвоздарев А.Ю., Дмитриев А.Н., Шитов А.В. Дискоидные облака в эпицентральной зоне Алтайского землетрясения // Алтайское землетрясение: Труды конф. - Горно-Алтайск, 2004.

## Томский государственный университет, г.Томск

Оценка сейсмичности территории Томской области базируется на исторических сведениях о происходивших в её пределах сейсмических событиях и её геологическом (тектоническом) строении.

Следует напомнить, что землетрясение ощущается как колебание грунта в результате комплексного воздействия продольных, поперечных и поверхностных сейсмических волн, имеющих различную скорость распространения. Сейсмические волны возникают вследствие тектонических деформаций земной коры и верхней мантии, при которых накопившиеся напряжения превысили прочность горных пород в данном месте. Происходит мгновенное перемещение масс по тектоническому разрыву и возникновение новых разрывов, что сопровождается выделением огромного количества энергии, малая толика которой излучается в виде сейсмических волн. Обычно главному толчку, который ощущается в течение нескольких секунд, предшествуют нарастающие по интенсивности слабые колебания, называемые форшоками. Таким же образом, после главного толчка в течение нескольких месяцев и даже первых лет, отмечаются затухающие по интенсивности колебания, называемые афтершоками. Каждый год на земном шаре происходит свыше 100000 землетрясений, от которых в среднем погибает около 10 тысяч человек. Но известны и катастрофические землетрясения, когда в считанные секунды и минуты разрушаются целые города и гибнут десятки и сотни тысяч людей.

Любое землетрясение характеризуется гипоцентром (очагом), эпицентром, интенсивностью, магнитудой и энергией.

*Гипоцентром (очагом)* называют участок в земной коре или мантии, где происходит хрупкое разрушение горных пород и возникновение разрывов. Очаг землетрясения может располагаться на глубинах от первых километров до 100 км на континентах и до 700 км в зонах Бенюфа-Заварицкого, где океаническая кора погружается под островные дуги и континенты.

*Эпицентр* представляет собой проекцию гипоцентра на дневную поверхность Земли. Используют также термин *плейстосейсмическая область* - место на поверхности Земли, располагающееся непосредственно над гипоцентром.

*Интенсивность* землетрясения определяется внешними эффектами на поверхности Земли, которые проявляются в смещении почво-грунтов, появлении трещин на поверхности, провалов и воздыманий, разрушении зданий и сооружений и т.д. Интенсивность землетрясений является в определенной мере величиной качественной и измеряется по шкале MSK-64 от 1 до 12 баллов. Человек начинает ощущать сейсмические волны при интенсивности в 2 балла. Разрушительными землетрясения становятся при интенсивности 5-6 баллов, а катастрофическими - при 8 баллах и более. Линии на карте, соединяющие пункты (точки), в которых землетрясение проявилось с одинаковой интенсивностью, называются *изосейстами*.

*Магнитуда* землетрясения соответствует десятичному логарифму измеренной на сейсмограмме максимальной амплитуде смещения почвы в микронах на расстоянии 100 км от очага. Самое слабое из ощутимых землетрясений имеет магнитуду 1,5. Землетрясение, способное причинить ущерб, имеет магнитуду 4,5, а сильнейшие из когда-либо зарегистрированных землетрясений имели магнитуду 8,9. Магнитуда связана с интенсивностью землетрясения, выраженной в баллах, уравнением:  $M = 1,3 + 0,6 F$ , где  $F$  - интенсивность землетрясения в баллах.

*Энергия* (E) землетрясений определяется величиной потенциальной и кинетической энергии, которая освобождается при разрядке напряжения в очаге в виде упругих сейсмических волн, расходуется на преодоление сил трения в очаге, пластические и хрупкие деформации пород, выделение тепла, волнового излучения и т.д. Энергия измеряется в джоулях. В виду значительных вариаций величин энергии при землетрясениях, используют её логарифм ( $K = \lg E$ ), рассчитанный для точки на расстоянии 10 км от гипоцентра. Величина K определяет энергетический класс землетрясения и оценивается от 0 до 18.

Среди землетрясений выделяются природные сейсмические явления и техногенные, вызванные деятельностью человека. Природные сейсмические явления могут быть обусловлены тектоническими, вулканическими и гравитационными (обвальными) процессами. Город Томск и его окрестности подвергались воздействию сейсмических волн, связанных как с тектоническими, так и техногенными явлениями.

Особенности тектонического строения Томского района обусловлены его положением в зоне сочленения двух крупных структур - Томь-Кольванской складчатой зоны и Западно-Сибирской плиты. Граница между ними условно проводится по долине р. Томи, а затем по её правому притоку - р. Большой Киргизке. В правобережье р. Томи в пределах Томь-Кольванской зоны в долинах рек имеются многочисленные скальные выходы песчаников и алевролитов каменноугольного возраста, смятых в складчатые структуры, разбитых на отдельные блоки разрывными нарушениями и прорванных трещинными телами магматических пород, известных под названием томских диабазовых даек. Этот комплекс пород перекрыт чехлом рыхлых осадков (песков, глин и суглинков) палеогенового, неогенового и четвертичного возраста толщиной от нескольких до 50-60 метров. Для рельефа характерна заметная расчлененность с перепадами высот до 60-70 м. На левом берегу р. Томи и севернее р. Большой Киргизки мощность рыхлых отложений, слагающих чехол, резко увеличивается до 300-600 м и более, рельеф приобретает равнинный характер, и эта часть территории Томской области в тектоническом отношении уже относится к Западно-Сибирской плите.

Наиболее ощутимо сейсмические колебания, вызванные природными землетрясениями, проявляются на территории г. Томска и его окрестностей, расположенных в пределах Томь-Кольванской складчатой зоны. На территории Западно-Сибирской плиты возможны локальные по площади техногенные землетрясения интенсивностью до 4-5 баллов, обусловленные либо извлечением из глубоких горизонтов нефти и газа, либо закачкой в подземные горизонты воды, либо промышленными взрывами, в том числе и ядерными.

Исторические документы свидетельствуют о том, что г. Томск и его окрестности за период с 1734 года по настоящее время неоднократно подвергались землетрясениям. Таковые зафиксированы в 1734, 1739, 1822, 1882, 1898, 1903, 1984, 1990 и 2003 годах. О землетрясении 1734 года имеется указание в работе И.В. Мушкетова и А.П. Орлова (1893): "В 1734 г. - землетрясение в Томске и его уезде, которое считается здесь редкостью" (с. 158). Р.И. Хованова (1961) оценивает его силу в 5-6 баллов, что, по нашему мнению, является явно завышенной величиной. В Бюллетене Постоянной Центральной сейсмической комиссии (1903) приведены карты изосейст Кузнецких землетрясений, которые произошли 19 июня 1898 г. и 12 марта 1903 г. с эпицентром в районе г. Новокузнецка, где сила толчка достигала 6-7 баллов (рис. 1). Здесь же опубликованы ощущения жителей г. Томска (профессоров В.А. Обручева, М.Н. Соболева и др.) о землетрясении 12 марта 1903 г.:

"...слышен треск каменных стен. Некоторые лица, бывшие на улице, передавали, что слышали какой-то гул (Проф. М. Соболев)".

"В 15 ч. 22 м. опускалось землетрясение в виде дрожания, имевшее направление, по-видимому, с юга на север. Сначала разговаривавший в это время наблюдатель почувствовал лёгкое головокружение, а затем заметил ритмический стук палки, стоявшей между 2-мя шкапами и начавшей попеременно ударяться то в один шкаф, то в другой. Сила 2-3.

(В.Обручев)".

"В 15 ч. 19 м. ощущалось волнообразное землетрясение с тремя толчками. Направление землетрясения было с юга на север; сила - около 3 баллов. (Г. Тюменцев)".

"В 15 ч. 22 м. (15 ч. 19 м.) было землетрясение в продолжение 20 сек. (3 колебания). Направление землетрясения было с юга на север. (Метеорологическая станция)".

"... часть города за "истоком". Около 15 ч. 20 м. ощущалось волнообразное землетрясение, хотя сперва был, кажется, толчок. Землетрясение ощущалось всеми людьми в доме. Заметно было дрожание оконных стёкол и посуды. Сотрясение шло из-за реки Томи; в этом же направлении (т.е., по-видимому, с запада на восток) качались гири у часов (Г. Пинегин)".

"Землетрясение наиболее ощущалось в нагорных частях города: на Воскресенской и Юрточной горах, особенно по Елани; на Ачинской улице, даже в одноэтажных домах тряслась мебель, дребезжала посуда, лампы и висячие лампы сильно качались. Кто сидел в это время, чувствовал как будто падает, а кто стоял, едва не падал. То же самое и на Юрточной горе. На Преображенской улице в квартире одного инженера упало на пол зеркало. В одном доме остановились часы, в другом - маятник неправильно закачался. Во многих домах посуда попадала с полок, на потолке и за обоями слышался шорох, птицы в клетках бились в испуге. Землетрясение сильнее чувствовалось в верхних этажах домов. Бывшие на улице почти ничего не заметили. Колокола на колокольнях, никем не трогаемые, издавали глухой, жалобный гул. (Газетные сведения)".

"В каменном здании присутственных мест появилась трещина (К. Сосновский, набл. Красноярской сейсмической станции)".

"Спасское, Томской губ. и уезда. В 15 ч. 20 м. наблюдалось волнообразное колебание, продолжавшееся около 6 сек. Шкафы и столы качались, посуда звенела, висячие лампы раскачивались. Сила 5. (Иркутск)".

Исходя из приведенных описаний, можно предполагать, что интенсивность колебаний, происшедших из Кузнецкой котловины 12 марта 1903 года, в г. Томске и его окрестностях составляла 2-3 балла.

В этой же книге И.В. Мушкетова и А.П. Орлова (1893) приведена карта распространения землетрясений в России, на которой эпицентр землетрясения 1739 года расположен на территории г. Томска, а 1882 года - в районе г. Бердска.

18 сентября 1984 года около 5 часов утра местного времени томичи проснулись от сейсмических толчков, интенсивность которых достигала 3-4 баллов. Звенела посуда, раскачивались люстры, открывались двери. Позднее стало известно (Стойлов, 1992; Радиационная..., 1993), что это землетрясение было вызвано подземным ядерным взрывом (условное название "Кварц-4"), произведенным вблизи бывшей деревни Ново-Александровки Чебулинского района Кемеровской области в скважине на глубине 560 м.

В середине 1990-ых годов из г. Кемерово неоднократно поступали сообщения о слабых землетрясениях интенсивностью 2-4 балла, происходящих в Кузбассе. Частично они связаны с тектоническими подвижками по зонам разломов на границе Кузнецкого прогиба с Салаирским кряжем и хребтом Кузнецкого Алатау, а частично, возможно, обусловлены обвальными процессами и мощными промышленными взрывами в карьерах, наземных и подземных горных выработках.

27 сентября 2003 года в 18 часов 40 минут местного времени жители г. Томска ощутили колебания поверхности земли, которые были особенно заметны в многоэтажных зданиях и вызвали панику среди жителей. Качались люстры, двигались мебель и мелкие предметы, с полок падала посуда, дребезжали окна. Из многих высотных домов люди выбегали во двор, захватив с собой документы, ценности и сбережения, и простояли на улице до позднего вечера. Интенсивность толчков оценивалась около 3 баллов.

28 сентября этого же года, около 2 часов ночи толчки повторились, но, хотя и ощущались жителями города, были уже заметно слабее предыдущих.

1 октября 2003 г. в 8 часов 03 минуты новые толчки силой около 2 баллов, которые ощущались, главным образом, жителями высотных домов Иркутского тракта и микрорайона Солнечный.

Эти землетрясения были вызваны подвижками по разломам в юго-восточной части Горного Алтая в Кош-Агачском районе в зоне тектонического сочленения Чуйской котловины с Курайским и Северо-Чуйским хребтами. Гипоцентр землетрясений находился на глубинах от 10 до 30 километров в пределах земной коры, и сейсмические волны вызывали колебания поверхности земли на значительной территории, включая Республику Алтай (3-6 баллов), Алтайский край (3-4 балла), Кемеровскую и Новосибирскую области (2-4 балла), юг Красноярского края (2-3 балла), Республики Тыва и Хакасия (около 2 баллов). В плестосейстовой области, в частности в пос. Бельтир, поверхность земли покрылась открытыми трещинами, провалами. В ряде районов Республики Алтай полностью разрушено 99 жилых домов, повреждены 20 школ и свыше 220 жилых домов, 6 больниц и фельдшерско-акушерских пунктов, нарушено электроснабжение и водоснабжение ряда населенных пунктов Кош-Агачского и Улаганского районов. Вследствие схода лавин и обвалов на крутых склонах гор было нарушено транспортное сообщение на участке п.п. Акташ - Кош-Агач и Акташ - Улаган. На сей раз землетрясение обошлось без жертв среди местного населения.

Основной причиной Алтайских землетрясений большинство учёных считают разрядку напряжений сжатия и перемещение блоков земной коры региона, обусловленного медленным смещением в северном направлении расположенных южнее Туранской и Индостанской плит. В то же время, существует другая точка зрения. По данным К.И.Кузнецовой и др. (1999), орогенный пояс Алтае-Саянской горной области сформировался на склонах куполообразного низкоскоростного маптийного диапира, центральная часть которого располагается на глубинах 40-50 км. Известно, что горные структуры осложнены рядом межгорных впадин (Хубсугульская, Тункинская, Тувинские, Минусинские, Кузнецкая, Телецкий, Курайская, Чуйская), которые образуются при растяжении и имеют разломные ограничения. В некоторых из них (Тувинских) ещё в совсем недавнем по геологическим меркам времени (2000 лет назад) происходили вулканические извержения. Эти признаки в большей мере указывают на рифтогенно-континентальный режим развития региона и, даже более точно, на его начальные стадии, для которых характерно сводообразование и формирование грабенов (впадин).

Город Томск и его окрестности в пределах Томь-Кольванской складчатой зоны, как и большая часть Алтае-Саянской области, в настоящее время также в целом испытывает медленное воздымание. Об этом свидетельствуют каньонообразный характер долин правых притоков р. Томи, их крутые берега и наличие порогов и перекагов, сложенных скальными порогами. То есть, можно констатировать, что и наш город и его окрестности в той или иной степени подвержены воздействию рифтогенных процессов.

Но, в любом случае, используя для реконструкций и объяснений причин сейсмических катастроф любую из предлагаемых геодинамических моделей, можно утверждать, что во всех высокогорных частях Алтае-Саянской области и в дальнейшем будут продолжаться субгоризонтальные и субвертикальные перемещения блоков по разломам и происходить землетрясения. Но поскольку их гипоцентры располагаются в пределах земной коры (30-40 км), интенсивность их в эпицентре вряд ли будет превышать 7-8 баллов, а в г. Томске и его окрестностях - 5 баллов. И это должно учитываться при строительстве в регионе гражданских и промышленных объектов.

Из всех перечисленных землетрясений только для одного, произошедшего в 1739 году, предполагалось, что эпицентр землетрясения располагался в районе г. Томска. Во всех остальных случаях эпицентры находились в пределах Алтае-Саянской складчатой области в горных сооружениях Алтая, Салаира, Кузнецкого Алатау, восточных и Западных Саян. В какой мере это может быть опасным для жителей г. Томска и его окрестностей?

Во-первых, любые сотрясения и колебания поверхности Земли будут способствовать

ослаблению связей между отдельными слоями и толщами рыхлых пород и провоцировать оползни, столь характерные для некоторых районов г. Томска. Эти негативные процессы могут усиливаться благодаря изменению интенсивности и направления стока подземных вод.

Во-вторых, следует учитывать большую изношенность жилого фонда, особенно крупнопанельных домов старой постройки, рассчитанных на землетрясения интенсивностью до 6 баллов. Существенно ослабляют несущие элементы многоэтажных домов также и самовольные реконструкции квартир.

В третьих, любые землетрясения в той или иной мере способствуют подновлению разломов в земной коре, в том числе и в рыхлых отложениях. В одних случаях такие подновленные разломы становятся водонепроницаемыми, а в других, наоборот, способствуют перетоку вод, в том числе и техногеннозагрязненных, с одного горизонта на другой. Возможность проявления и изучения подобных процессов исключительно важна для территории расположенного в непосредственной близости с г. Томском Сибирского химического комбината, где производится закачка жидких радиоактивных отходов в подземные горизонты.

Не менее важным моментом с целью предотвращения паники при землетрясениях является разъяснительная работа в вузах, школах, детских садах, на производстве и среди неработающего населения. Всем нам следует смириться с тем, что землетрясения были, периодически происходят в настоящее время и будут происходить в будущем. Это обстоятельство необходимо учитывать и, соответственно, постоянно быть готовыми к встрече с этим стихийным бедствием.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов В.И. Россия радиоактивная. Новосибирск: ЦЭРИС, 1996. 272 с.
2. Бюллетень Постоянной Центральной сейсмической комиссии, издаваемой под редакцией проф. Г.В. Левицкого. 1903 год Январь-март. СПб: типогр. Императ. Академии наук. 1903. 74 с.
3. Жалковский Н.Д., Мучная В.И. Некоторые результаты макросейсмических исследований Алтае-Саянской области // Сейсмичность Алтае-Саянской области. Новосибирск: СО АН СССР, 1975. С. 28-39.
4. Кузнецова К.И., Лукин Н.В., Кучай О.А. Мантйные процессы и новейший орогенез Алтае-Саянской области // Тектоника, геодинамика, и процессы магматизма и метаморфизма. Мат-лы совещ. Том 1. М.: ГЕОС, 1999. С. 338-340.
5. Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи. СПб: типография Императ. Академии наук, 1893. 582 с.
6. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1992 г. Ежегодник. Обнинск, 1993. 290 с.
7. Стойлов Э.В. Землетрясение, которого не было // Красное Знамя, 1992. 17 - 18 ноября.
8. Хованова Р.И. Землетрясения Алтае-Саянской зоны // Землетрясения в СССР. М.: АН СССР, 1961. С. 349-352.

Горно-Алтайский государственный университет,  
ГАФ ИВЭП СО РАН, г.Горно-Алтайск

По словам министра С. Шойгу "всё происходившее в эти дни на Алтае не поддается никаким объяснениям. Таких землетрясений не бывает. Здесь все происходит иначе, наблюдаются интересные и по большому счету необъяснимые явления. Такого еще нигде не было".<sup>1</sup>

Уникальность алтайского землетрясения заключается не только в его физических, геологических проявлениях, которые исследуются с помощью науки, но в его духовных феноменах, которые проявились, прежде всего, в объяснении причин катаклизма. По данным визуальных наблюдений и предварительному опросу жителей, испытавших на себе проявления стихии, особенно в первые дни после землетрясения, причины произошедшего объяснялись с позиций антропогенного генезиса, нарушения законов сосуществования человека и природы. "Алтай прогневил Бога", "Это был какой-то знак нам, предупреждение", "Душа алтайской принцессы требует успокоить ее прах", "Мсть предков", "Хан-Алтай предупреждает о наших грехах", "Природа сама себя защищает" - такие версии произошедшего широко распространились среди населения Горного Алтая. К ним можно относиться по-разному: окрестить слухами, обвинить в наивности, считать антинаучными и даже вредными явлениями. Но, согласитесь, в них что-то есть... И это "что-то" чувствуется на инстинктивном уровне, особенно теми людьми, которые наиболее чувствительны или наделены способностями к предвидению. Что? То, что наука объяснить пока не в состоянии. Но там, где бессильна наука - слово берет философия: мудрость, сконцентрированная во времени и пространстве, начала которой связаны с мифологическим взглядом на мир.

Алтайский народ имеет богатую мифологию и, видимо, поэтому объяснение причины произошедшего землетрясения получило мифологический характер. Из мифологических версий заслуживают внимания, прежде всего две версии - версия предупреждения и версия нарушения. Они обе в той или иной мере получили свое выражение в местной прессе.

Версия предупреждения связана с алтайскими легендами и поверьями о белом марале, ирбисе, верблюде, змее и т.д. Так, по теленгитским поверьям "после того, как змея выползет в Чуйскую степь, а верблюд появится в долине Улагана - будет беда".<sup>2</sup> Верблюды были в Улагане во время празднования Эль Ойына, а прошедшим летом "на краю Чуйской степи. говорят, впервые увидели змею, и это встревожило стариков: что-то будет?"<sup>3</sup>

Древние предания о снежных барсах-ирбисах говорит о том, что пока снежные барсы живут в горах Алтая человек также может жить спокойно. Эпицентр землетрясения пришелся как раз на окрестности горы снежных барсов Ирбис-Туу. Старые люди прокомментировали это следующим образом: духи Алтая "услышали исчезающих снежных барсов и через их гору сделали нам последнее предупреждение".<sup>4</sup>

С мифологической точки зрения белая гора Ирбис-Туу напомнила о себе не просто так: снежные барсы исчезают, а вслед за ними идет угроза исчезновения животного мира Алтая, который в настоящее время уничтожается просто хищнически. Сегодня численность ирбиса не превышает 30 особей в районе Аргута. Состояние популяции снежного барса, по заключению Комитета природных ресурсов по Республике Алтай, вызывает тревогу. Над популяцией нависла угроза истребления браконьерами. Комитет природных ресурсов по Республике Алтай констатирует, что в результате "увеличения безработицы на селе и высокой цены на шкуры снежного барса растет браконьерство и незаконная торговля шкурами этого редкого вида, занесенного в Красные книги Российской Федерации и Республики Алтай".<sup>5</sup> Своего рода "помощниками" в этом процессе выступают средства массовой информации.



Местная пресса практически еженедельно печатает объявление: "Куплю дорого шкуру рыси". И даются телефоны. Иначе как отсутствием нравственности это не назовешь: золотой телец одерживает победу. Между тем журналисты этих же изданий участвуют в конкурсах на лучшее освещение экологических вопросов в прессе.

Конечно, рысь - это не ирбис. Но снежный барс - это символ. Речь идет в целом о существовании животного мира на Алтае. Никакого изобилия диких животных нет, но размах браконьерства растет. Анализ динамики правонарушений свидетельствует об их значительном росте. К примеру, в Шавлинском заказнике "запрещены все виды охотничьего промысла, но при этом здесь отстреливают животных прямо с вертолетов".<sup>6</sup> Не об этом ли хотела сказать людям белая гора Ирбис-Туу?..

К мифологической версии предупреждения можно отнести версию, выраженную следующим суждением: "Природа сама себя защищает". Эта версия более широко распространилась в северных районах Горного Алтая - Майминском, Турачакском, а также среди населения г. Горно-Алтайска. Вполне возможно, что это связано с тем, что в этих районах природа испытывает значительную антропогенную нагрузку в связи с активным развитием туризма в последние годы. Развитие туризма становится одной из приоритетных отраслей экономики. Но при этом слабо принимается во внимание, что туризм несет с собой не только материальные прибыли, но и такие негативные последствия как эрозию почв, загрязнение воды и воздуха, сокращение биоразнообразия, изменение ментальности и образа жизни людей. Деятельность туристических комплексов ухудшает экологическое состояние водо-охраных зон, прибрежных полос, загрязняет поверхностные воды. При этом надо отметить, что большинство туристических объектов расположены в водо-охраных зонах, имеют закрепленные земельные угодья в их пределах, в частности, по побережьям Катунь и Телецкое озера. Жители с. Соузги справедливо спрашивают правительство: "Как же вы допустили, что все берега Катунь распроданы - местным жителям невозможно подойти к берегу?"<sup>7</sup>

По-прежнему не снята угроза строительства Катунской ГЭС и автомобильной трассы. Мнением населения при этом никто не интересуется: "Нас даже не спрашивают, когда обсуждают проекты строительства ГЭС на Катунь, или строительства газопровода, или автодороги на Китай", - замечает известный алтайский деятель Б.Я. Бедюров.<sup>8</sup> Все отдано на откуп политическим и научным амбициям. Так, в связи с последними сейсмическими событиями идея строительства Катунской ГЭС должна бы, по логике вещей, уйти в небытие. Но это отнюдь не так. Нашлись ученые, которые утверждают, что "большинство таких ГЭС находятся в сейсмически активных зонах. Сейчас существуют конструкции, позволяющие выдержать землетрясение силой до 8 баллов".<sup>9</sup> А если выше? Остается только вспомнить легенду о Сартакпае как последнюю надежду.

Сартакпай прокладывал русло этой могучей реки и пытался построить мост через ее бурные воды. Все деяния мифического богатыря были полны заботы о людях, родном крае. Но даже Сартакпаю не удалось построить мост через Катунь.

В алтайском мифе "Непокорная река" рассказывается, как богатырь прихватил алтайскую реку и повел ее через хребты Табын-Богдо-Ола, по каменистым степям Монголии, пескам Гоби. Но река вернулась обратно на Алтай. Не удалось богатырям покорить реку, сделать ее послушной, выполняющей чужую волю.

И сегодня, по прошествии многих веков с тех далеких мифических времен, легенда жива. А значит, жива надежда на то, что мудрость народа, прошедшая сквозь века, достигнет, наконец, политиков и государственных деятелей. И сиюминутные решения, принятые в угоду чьим бы то ни было амбициям, не найдут своего воплощения, а красавица Катунь по-прежнему будет гордо нести свои свободные воды и напоминать ныне живущим и потомкам о тщете усилий во власти над природой.

Отношение к Катунь, священной реке Горного Алтая, характеризует отношение к святыням

в целом: неуважительное. Здесь нашла свои истоки еще одна мифологическая версия объяснения причин происшедшего землетрясения, которую можно назвать версией нарушения - нарушения традиций, нарушения табу: укокская мумия. Причем, эта версия имеет аналогии с перезахоронением великого Тамерлана. "Мы, люди, чего-то недопонимаем в своей жизни, - говорится в обращении Главы МО "Копп-Агачский район" А. Джаткамбасва. - Зачем играть судьбой и историей народа. Ученые, нашедшие и раскопавшие гробницу принца и принцессы на земле Укок получили все научные данные, необходимые для науки и истории... Дальнейшее ее удержание, а тем более зарабатывание денег на показе голых тел принцессы и принца несовместимо с человеческими понятиями... Это не выдумка и не прихоть, это учение, пришедшее из глубины веков и не нам судить об этом".<sup>10</sup>

Вопрос о возвращении мумии, найденной на плато Укок, поднимается, конечно, не первый раз. Он возник сразу после находки, а в связи с землетрясением резко обострился. Причем в данном случае совершенно неважно происхождение мумии. Значение имеет ее ассоциация с принцессой Кадын, которая иллюстрирует отношение к духовной стороне жизни народа, исторической памяти. Она сохраняется и дает о себе знать на интуитивном уровне: почитание умерших, сохранение их покоя. Жители Ортолыка, к примеру, называют "принцессу Укока" священной реликвией для Алтая, хранильницей покоя и величия. "Как язычники, мы не сомневаемся в существовании параллельного мира, в том, что все в мире взаимосвязано, - говорят они в своем обращении к алтайскому народу. - Мы уверены в том, что душа "алтайской принцессы" бунтует и требует успокоить, наконец, ее страх".<sup>11</sup>

Кажущаяся наивной версия о связи укокской мумии с землетрясением актуализирует глубокие смысловые философские проблемы. Материальное бытие современного потребительского общества сводит на нет духовные ценности человека, устоявшиеся духовные традиции, открывает "зеленую" дорогу золотому тельцу, который овладевает душами людей, особенно молодежи. Мифологическое мышление в данном случае играет свою положительную роль. И это подтверждает его право на существование в современном мире, хотя с позиций современной науки оно уже давно должно уйти в прошлое. Но почему-то в прошлое оно не уходит, что наглядно показало алтайское землетрясение. Напротив, в критических ситуациях, т.н. пограничных зонах оно начинает занимать то или иное место, вплоть до господствующего. Очевидно потому, что в глубине сознания на уровне инстинкта мы чувствуем свою связь с окружающим миром, являем свой микрокосм. И в этом аспекте можно говорить о пользе мифологического мировоззрения для современного человека. Искать его взаимосвязи с современной наукой. "Переход на понятие и идеологию живой Земли, - замечает А.Н. Дмитриев, - был бы чрезвычайно полезен для политики, экономики и глобальной экологии. Ведь уже не секрет, что те экологические механизмы, которые привели нас в состояние экологической разрухи, стихийных катастроф, они же не считались с Землей как с живым организмом".<sup>12</sup>

Земля - это живой организм, в котором все взаимосвязано. Но человек западной цивилизации утратил такой целостный взгляд на мир, утратил диалог с природой, поставив тем самым под угрозу само существование человечества. Поэтому осмысление глобальных катастроф требует синтеза различных знаний, в том числе науки и философии.

#### Литература:

1. Витовцев Н. Осенняя тайга. //Постскриптум, 2003. № 41. С.4
2. Там же.
3. Там же.
4. Там же.
5. О состоянии окружающей природной среды Республики Алтай в 2001 г. Доклад Комитета природных ресурсов по Республике Алтай. - Горно-Алтайск, 2002. С. 44.
6. Листок, 2004. № 13.

7. Зяблицкая О. Это волнует жителей Союзги. //Вестник, 2004. № 6.
8. Бедюров Б. Судьба республики висит на волоске. //Постскриптум, 2003. № 39. С. 2.
9. Стихия припла в Горно-Алтайск. //Листок, 2004. № 8.
10. Кобзев Д. Месть предков? //Листок, 2004. № 17.
11. Верните принцессу. //Звезда Алтая, 2003. № 177-178.
12. Дмитриев А.Н., Русанов А.В. Крест бытия. Томск-Новосибирск, 2000. С. 40.

# К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

О.В. Шестакова\*, Ж.Г. Шестернина

ЦГСЭН по РА\*, Горно-Алтайский государственный университет, г.Горно-Алтайск

## 1. Анализ первичной заболеваемости в Улаганском и Кош-Агачском районах.

Человеческий организм обладает уникальными возможностями приспосабливаться к разнообразному воздействию факторов окружающей среды. Он способен на стереотипную неспецифическую реакцию, которая может проявляться в виде общего адаптационного синдрома или болезней адаптации. При этом Г. Селье подчеркивал, что адаптационный синдром является физиологической реакцией, имеющей защитный характер. Возникая в ответ на раздражающее воздействие факторов среды как физиологическая реакция, она, в зависимости от накопленного ранее организмом человека "груза" может трансформироваться в патологическую и проявиться уже в виде болезни (Селье Г., 1979). Таким образом, этот синдром не всегда является эффективным и может способствовать, проявившись на "благоприятной" почве, развитию той или иной патологии, к которой организм уже был подготовлен воздействием других факторов.

Анализ заболеваемости в Улаганском и Кош-Агачском районах показал значительный рост общей и первичной заболеваемости. Для изучения возможной реакции организма на воздействие землетрясения нами была проанализирована первичная заболеваемость в районах, оказавшихся в эпицентре землетрясения (показатель на 1000 населения), как характерный показатель адаптации к условиям окружающей среды.

### Первичная заболеваемость:

год	2000г.	2001г.	2002г.	2003г.
в Кош-Агачском районе (пок. на 1000 нас.)	599,1	692,1	793,3	962,9
в Улаганском районе (пок. на 1000 нас.)	1400,7	916,6	968,7	974,8

При рассмотрении первичной заболеваемости в **Кош-Агачском** районе особое внимание следует обратить на рост заболеваемости по большинству классов болезней:

1. болезни крови и кроветворных органов: в 2002 году показатель на 1000 населения составил - 4,1; в 2003 году - 12,7 (рост составил 3,1 раза). Среди болезней крови и кроветворных органов ведущее место занимают анемии.

2. болезни эндокринной системы: в 2002 году показатель на 1000 населения составил - 1,9; в 2003 году - 5,4 (рост составил 2,8 раза). Среди болезней эндокринной системы ведущее место занимает сахарный диабет.

3. болезни системы кровообращения: в 2002 году показатель на 1000 населения составил - 23,5; в 2003 году - 56,1 (рост составил 2,4 раза).

При анализе заболеваемости среди подростков необходимо отметить возникновение заболеваний, не диагностирующихся на территории района в течение последних двух лет: онкологические заболевания и психические расстройства. Рост заболеваемости наблюдается и по классу нервных болезней.

Среди болезней у детей следует обратить внимание на состояния, возникающие, в перинатальном периоде: в 2002 году этот показатель на 1000 населения составил - 1,4; в 2003 году - 5,4 (рост составил 4 раза). Повысилась первичная заболеваемость и в отношении болезней крови и кроветворных органов, болезней глаза и костно-мышечной системы.

При изучении первичной заболеваемости в **Улаганском** районе среди взрослого населения

наблюдается рост по сравнению с 2002 годом по следующим классам болезней:

1. врожденные аномалии: в 2002 году показатель на 1000 населения составил - 1,6; в 2003 году - 3,2 (рост составил 2 раза).

2. болезни кожи подкожной клетчатки: в 2002 году показатель на 1000 населения составил -65,1; в 2003 году -115,3 (рост составил 1,8 раз).

3. болезни крови и кровотворных органов: в 2002 году показатель на 1000 населения составил -13,5; в 2003 году - 18,3 (рост составил 1,4 раза).

4. болезни органов пищеварения: в 2002 году показатель на 1000 населения составил - 23,7; в 2003 году - 32,0 (рост составил 1,4 раза).

У подросткового населения значительно увеличилась заболеваемость по таким классам болезней как: органов пищеварения в 6,8 раз, болезни органов дыхания в 2,7 раза, болезни кожи и подкожной клетчатки в 1,5 раза.

У детей увеличилась заболеваемость по следующим классам болезней: состояния, возникающие в перинатальном периоде, в 2 раза; болезни органов пищеварения в 1,9 раза; болезни крови и кровотворных органов в 1,4 раза.

Резкого увеличения показателей смертности в Улаганском и Кош-Агачском районах по сравнению с 2002 годом не наблюдается. Детская смертность в Кош-Агачском районе занимает первое место среди районов Республики Алтай, причем только в этом районе отмсчается детская смертность от заболеваний злокачественными новообразованиями. В Кош-Агачском районе в 2002 году мертворождаемость (показатель на 1000 населения) составила - 14,9; в 2003 году - 15,3. В 2003 году мертвыми родилось 6 детей, из них 3 в Бельтире после змлетрясения.

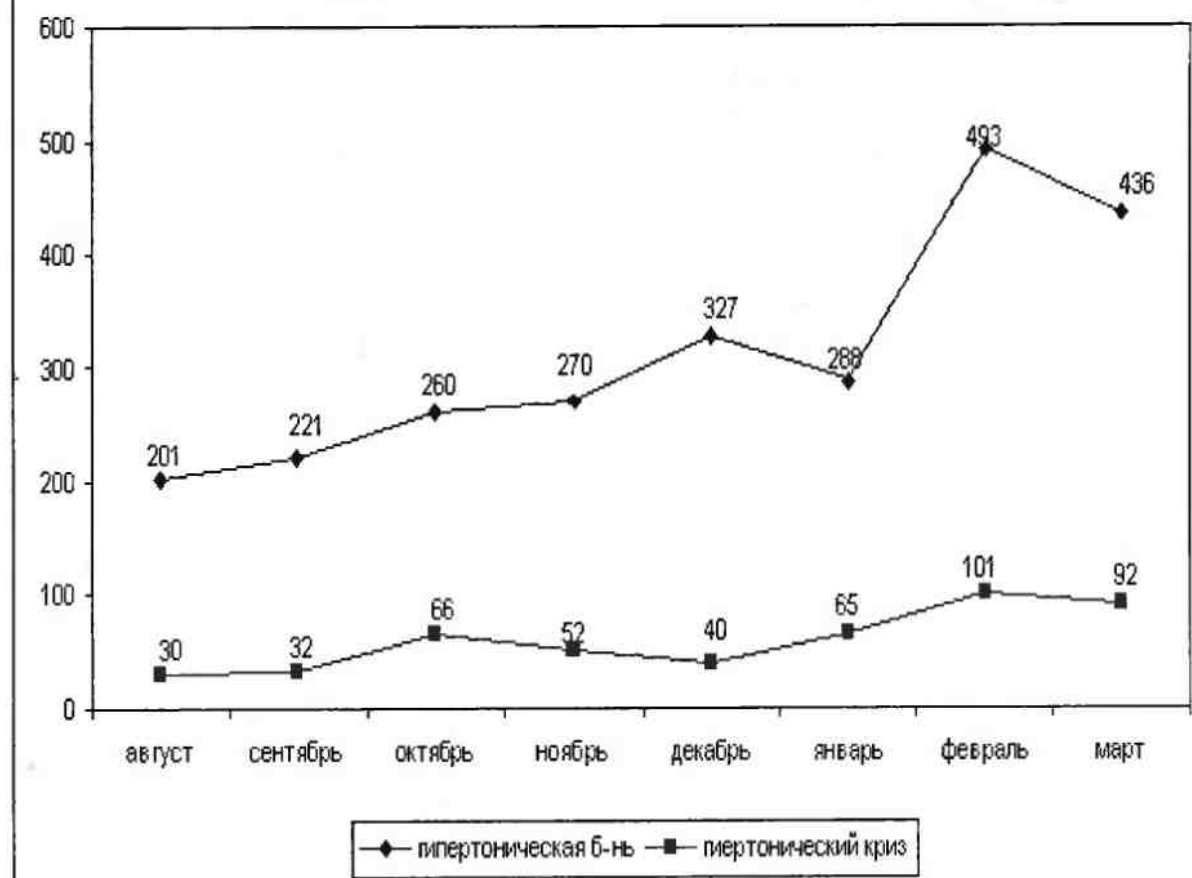
В структуре смертности наблюдается рост показателей по классу травмы, отравления и другие воздействия внешней среды. В Кош-Агачском районе в 2002 г. - 47 человек в 2003 г. - 87. Особенное внимание следует обратить на смертность от самоубийств в Улаганском районе: в 2002 году 10 человек, в 2003 г. - 15 из них детей и подростков 4, в Кош-Агачском районе в 2002 г. - 12 человек, в 2003 г. - 30 из них детей и подростков - 3 (все в Бельтире).

## **2. Анализ данных скорой медицинской помощи населению г. Горно-Алтайска**

Землетрясение явилось стрессовым фактором, повлиявшим на состояние здоровья населения республики Алтай. Стресс - это генерализованная реакция, которая возникает в ответ на действие факторов риска, в том числе природно-климатических, социальных и других, угрожающих благополучию организма. Среди всех жизненно важных систем организма система кровообращения отличается наиболее высокой реактивностью и играет первостепенную роль в реализации адаптационного синдрома. В соответствии с концепцией Г. Селье, влияние факторов риска (угрожающих благополучию организма) вызывает своеобразную повышенную чувствительность организма к любому стрессу, а первичным ответом при такой сенсбилизации является реакция сердечно-сосудистой системы (Мешков Н.А., 1999). На примере работы скорой медицинской помощи г. Горно-Алтайска видно, что обращаемость за экстренной помощью по причине повышения артериального давления и гипертонических кризов резко возросла. Некоторый рост наблюдался в октябре, ноябре, декабре месяце, а наиболее значительный рост отмечен в февралe при ощутимых повторных толчках.

Дальнейшее влияние землетрясения на здоровье населения республики, возможно, оценить лишь, при дальнейшем динамическом наблюдении за заболеваемостью.

## Реакция сердечно-сосудистой системы на землетрясение 2003г.



### Литература

- Мешков Н.А. Адаптация организма к воздействию природных и техногенных факторов//  
Вестник межрегиональной ассоциации "Здравоохранение Сибири". - 1999. - № 4. - С.  
11-16.
- Селье Г. Стресс без дистресса. - М.: Прогресс, 1979. - 124 с.

# СОСТОЯНИЕ ВЕГЕТАТИВНОГО ТОНУСА И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ В ПРОЦЕССЕ АДАПТАЦИИ К ШКОЛЕ НА ФОНЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

*Е.Г.Ворожков, Е.Г.Ворожкова, Е.Н.Скворцова, Е.Н.Скворцова,  
Э.С.Велишева*

**Горно-Алтайский государственный университет, г.Горно-Алтайск**

Адаптация ребенка к школе - довольно длительный процесс, связанный со значительным напряжением всех систем организма. Успешность обучения детей в школе во многом определяется функциональным состоянием ребенка. В свою очередь функциональное состояние зависит от уровня адаптивных возможностей организма. И функциональное состояние, и уровень адаптации, в конечном счете характеризуют состояние здоровья школьника.

Таким образом, развитие адаптивного состояния включающего совокупность физиологических изменений, лежащих в основе уравнивания организма с постоянными или изменяющимися условиями среды является ключевым процессом жизнедеятельности. Трудность и важность изучения проблемы адаптации растущего организма к комплексу воздействий обычных, не экстремальных условий среды обусловленных режимом обучения в настоящее время общепризнанна, следовательно, по-прежнему остается актуальной.

Индикатором реактивности на возмущающие факторы среды в процессе адаптации на фоне целостного организма может служить сердечно-сосудистая система. Следовательно, изменение ритма сердца в этой связи определяется как универсальная оперативная реакция целостного организма в ответ на любое воздействие внешней среды. В определенной степени, оно характеризует и баланс между тонусом симпатического и парасимпатического отделов.

Отсюда становится вполне понятной цель нашего исследования изучить показатели вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы в процессе адаптации организма детей младшего школьного возраста Республики Алтай к школе.

**Контингент и методы исследования.** Исследования проводились в течение первой четверти 2003 года, с 8-10 часов утра, один раз в неделю в школах № 1, № 8 города Горно - Алтайска и в средней общеобразовательной школе с. Усть - Кокса. Объектом исследования выступили учащиеся первых классов, средний возраст которых составил 7 лет. Обследованию подверглись 128 детей из них 70 мальчиков, 58 девочек. Одна часть обследованных детей (45 человек) с. Усть-Коксы проживает в высокогорной зоне, остальные (83 человека) населяют область низкогорья. Для решения поставленной цели требовались такие методы исследования, которые позволяли бы регистрировать относительно малые изменения вегетативной активности с помощью простого, быстро применяемого средства, не оказывая при этом какого-либо влияния на саму деятельность организма. Поэтому исследование соотношения диастолического давления и числа ударов пульса в минуту, на наш взгляд, ближе всего подходит для поставленной нами цели. Таким образом, программа исследования включала измерение артериального давления стандартным методом Короткова, частоты сердечных сокращений с последующей оценкой вегетативного профиля - индекс Кердо [5] и функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы.

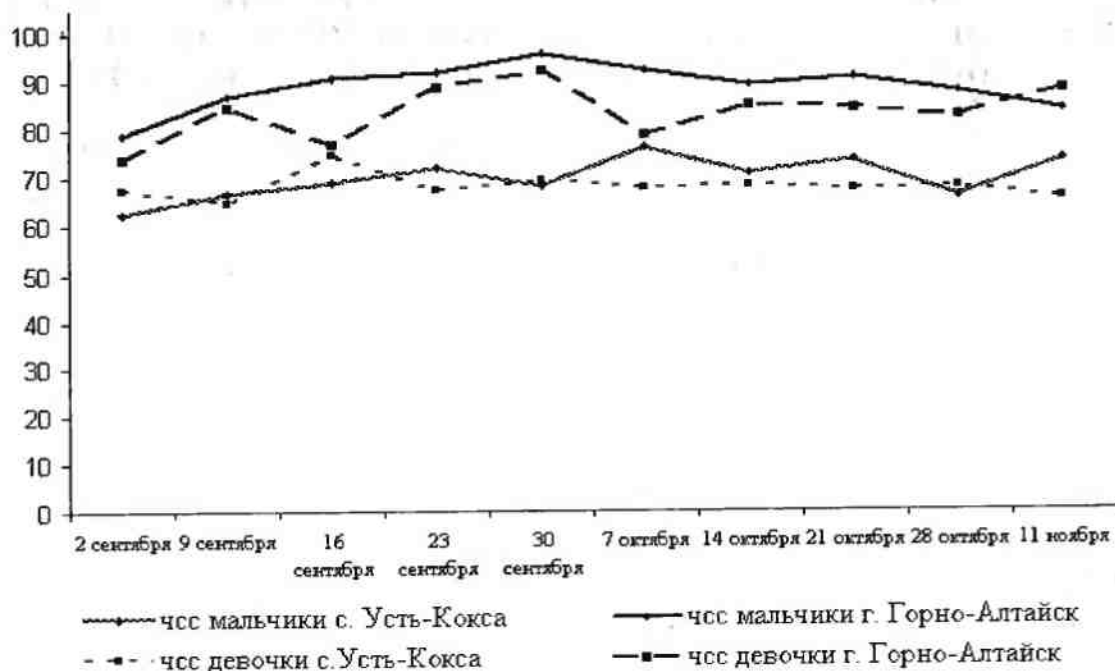


Рис. 1. Динамика частоты сердечных сокращений детей младшего школьного возраста за первую четверть 2003 учебного года.

Оценивая параметры частоты сердечных сокращений детей с. Усть-Коксы и г. Горно-Алтайска вначале первой учебной четверти обращает на себя внимание то обстоятельство, что как мальчикам так и девочкам характерна брадикардия (рис. 1). Из литературы известно [2], что частота сердечных сокращений детей семилетнего возраста составляет в среднем 85 уд/мин, причем с шестилетнего возраста отмечаются уже половые различия, связанные с увеличением данного показателя у девочек. Как видно из рисунка 1 на протяжении всего периода обследования (ЧСС) детей с. Усть-Коксы практически не изменилась. Напротив, у детей г. Горно-Алтайска уже с первой недели намечился рост (ЧСС) особенно ярко проявляющийся у мальчиков.

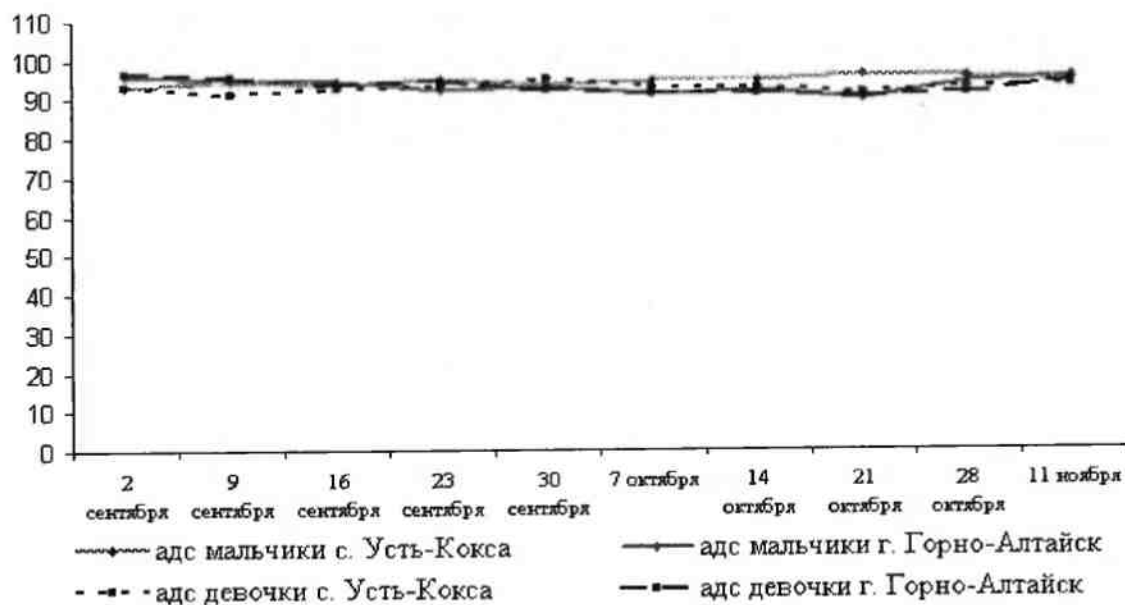


Рис. 2. Динамика систолического артериального давления детей младшего школьного возраста на первую четверть 2003 учебного года.



Средняя величина систолического давление в норме для мальчиков семи лет составляет 96,6 мм рт.ст, а для девочек 96,9 мм рт.ст. Результаты измерения систолического артериального давления детей младшего школьного возраста исследуемых нами территорий представленных на рисунке 2 показывают достаточно ровный характер распределения этого показателя на протяжении всей первой четверти учебного года. И как видно из того же рисунка находится в пределах физиологической нормы. Напротив диастолическое артериальное давление среднестатистическая величина которого составляет 53,1 мм рт.ст, для мальчиков и 52,2 мм рт.ст для девочек соответственно [2] в нашем случае оказалась выше физиологической нормы для данного возрастного периода (рис.3). Таким образом, сердечно-сосудистая система детей младшего школьного возраста в целом показывает достаточно ровную динамику на протяжении всего периода исследования. На фоне этого значения артериального давления и частоты сердечных сокращений, как в начале, так и в конце первой четверти учебного года остаются практически на одном уровне.

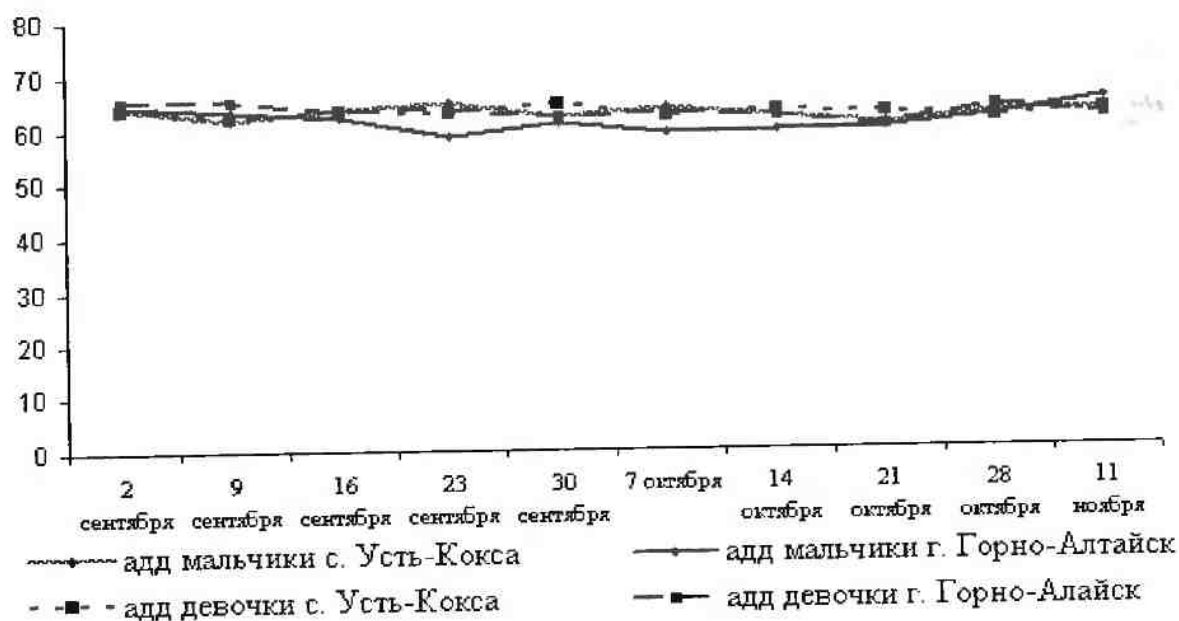


Рис.3. Динамика диастолического артериального давления детей младшего школьного возраста на первую четверть 2003 учебного года.

Однако как уже отмечалось выше диастолическое артериальное давление обследованных детей и частота сердечных сокращений детей с. Усть-Коксы не соответствует среднестатистической норме характерной для данного возрастного периода. Вероятно это результат того, что семилетний возраст можно считать одним из критических (сенситивных) моментов т.к. поступление в школу переломный момент в жизни каждого ребенка. В связи с этим происходят существенные изменения в формировании нервной регуляции сердца. Более того, по данным [1] люди, проживающие в условиях высокогорья и среднегорья, имеют сравнительно низкие показатели пульса и артериального давления, с теми, кто живет в низкогорье - например гипоксия, что напрямую относится к детям с. Усть-Коксы проживающих на высокогорье.

Работа сердечно-сосудистой системы находится под контролем симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, причем те и другие влияния

по-разному действуют на физиологические показатели, в частности на частоту сердечных сокращений (ЧСС). Парасимпатическая активация вызывает замедление сердечного ритма, возникающих при предъявлении новых умеренных по интенсивности стимулов. Симпатическая активация, напротив, ведет к увеличению частоты сердечных сокращений или к повышению мышечного напряжения. Как система жизнеобеспечения вегетативная нервная система созревает на ранних этапах развития, однако к моменту рождения влияние симпатической и парасимпатической системы еще недостаточно сбалансированы. В процессе развития ребенка усиливается влияние высших отделов центральной нервной системы, соответственно совершенствуется приспособительный регулирующий характер воздействия вегетативной нервной системы [3]. Временное несоответствие в развитии различных систем организма вызывает его напряжение. Это в свою очередь связано с тем, что онтогенез в ходе своем неоднороден, дискретен, разделяется на несколько фаз развития и объясняется это периодическим характером функционирования наследственного аппарата. Между фазами существуют короткие периоды, и как уже отмечалось, выше эти периоды получили название сенситивных (чувствительных). В эти периоды ослабевает действие наследственного фактора, и организм открывается для влияния среды, становятся более пластичными (причем, как для позитивных, так и негативных воздействий) [4]. Возрастной интервал от 7 до 10 - 12 лет считается сенситивным для развития практически всего спектра способностей. Как раз в этот период происходит переход из одной социальной среды в другую (поступление в школу). Начало школьного обучения координальным образом меняет весь образ жизни ребенка. Следовательно, реактивная способность сердечно-сосудистой системы зафиксированная нами может вполне укладываться в функциональные возможности организма характерных для данного этапа онтогенеза.

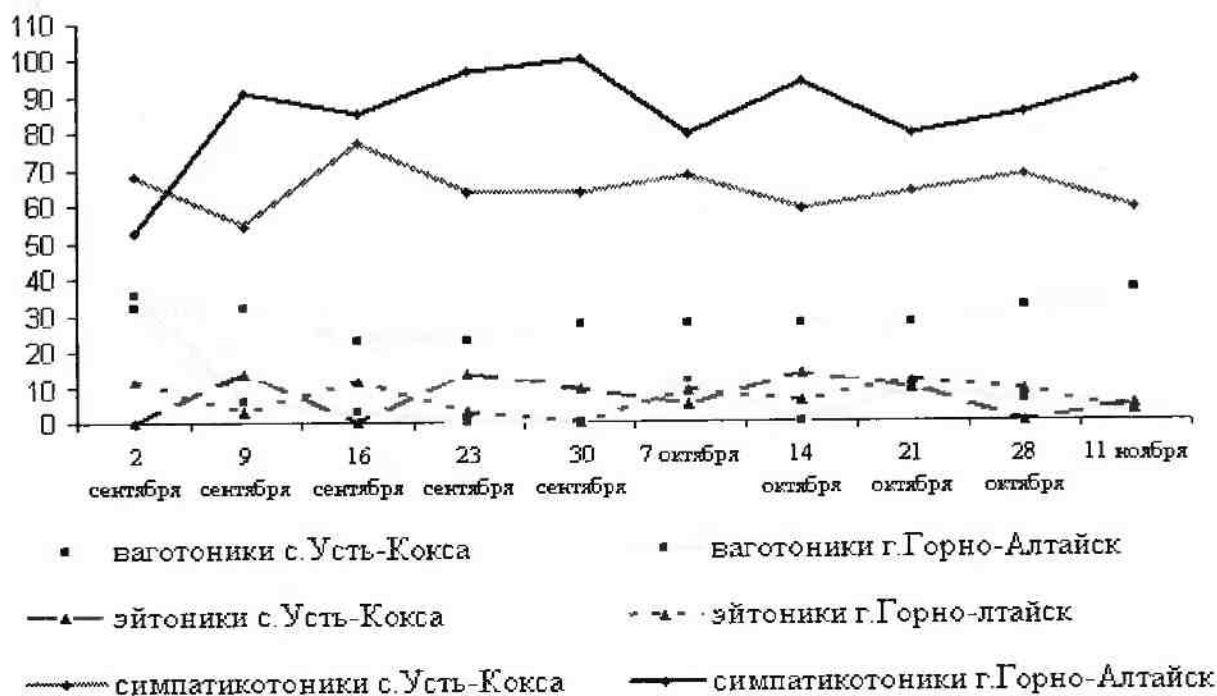


Рис. 4. Динамика вегетативного тонуса девочек младшего школьного возраста г. Горно-Алтайска за первую четверть 2003 учебного года.

Мы уже отмечали выше, что вегетативная нервная система играет существенную роль в процессах адаптации организма, вследствие чего ее функциональное состояние весьма изменчиво. Наблюдения за изменениями вегетативного тонуса при изучении физиологического действия физико-химических факторов окружающей среды, например, метеорологических или климатических условий позволяет проследивать реактивные

возможности организма. Однако это вовсе не означает, что вегетативный тонус следует рассматривать, как абсолютное преобладание одной функции, которое анатомически связано с одним, не всегда однозначно выделяемым отделом нервной системы. Его следует рассматривать как характерный вид деятельности, затрагивающей организм целиком, с использованием всех механизмов, регулирующих жизненные процессы (нервных и гуморальных). Это в свою очередь дает возможность организму решать задачи актуальной адаптации. Стоит также отметить, что роль симпатки и парасимпатки с точки зрения экспериментального исследования показывают, что два антагонистических отдела вегетативной нервной системы принимают участие в регуляции жизненных процессов не по принципу "или-или", они одновременно пропорционально задействованы при неожиданно возникшей нагрузке на организм. Усиление тонуса блуждающих нервов выражается, прежде всего, в снижении сердечбиений. Адаптационные возможности сердца повышаются, и оно успешно справляется с увеличением нагрузки, на фоне снижения парасимпатических влияний. Из наших исследований видно, что на протяжении всего периода наблюдений, во всех исследуемых группах преобладает симпатико-тонический тип вегетативной регуляции (рис. 4 - 5), причем у Горно-Алтайских детей симпатический тонус выражен ярче. Такая реакция может быть объяснена рядом причин: во-первых, повышение симпатического тонуса выполняет адаптационно-трофическую функцию. Во-вторых, повышенное влияние симпатического отдела может быть характерной особенностью организма детей младшего школьного возраста проживающих на данной территории. В - третьих, не исключается возможность влияния как социальных, так и экологических факторов среды. Кроме того следует отметить рост симпатического тонуса к концу первой четверти учебного года как у мальчиков, так и у девочек г. Горно-Алтайска, а у школьников с. Усть-Кокса тонус отделов вегетативной нервной системы остается практически неизменным. Это обстоятельство свидетельствует в пользу благоприятных социально-педагогических условий для адаптации к учебной нагрузке сельских школьников по сравнению с городскими.

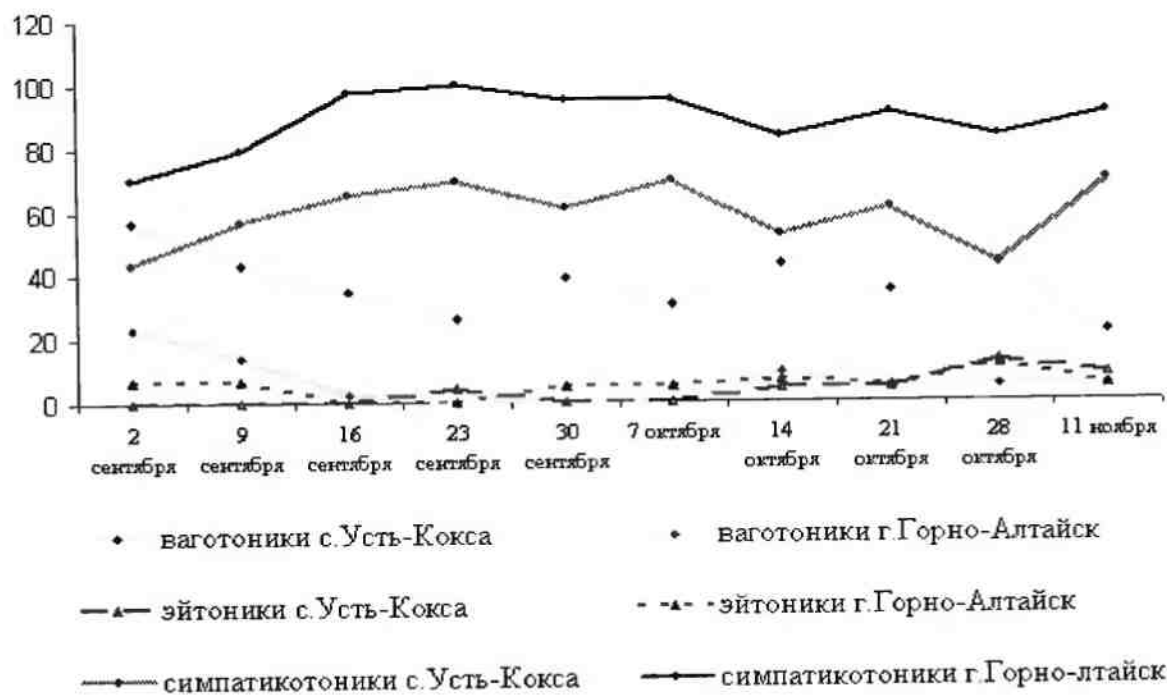


Рис.5. Динамика вегетативного тонуса мальчиков младшего школьного возраста г. Горно-Алтайска за первую четверть 2003 учебного года.

Однако с равной долей вероятности реакция вегетативной нервной системы может свидетельствовать о подготовительной реакции организма к предстоящим природным

возмущениям. Речь в данный момент идет о землетрясении произошедшем 27 сентября и 1 октября 2003 года на территории Республики Алтай с магнитудой 7,5 и 7,0 соответственно (данные). Известно, что за несколько дней до землетрясения вследствие медленного смещения глубоко лежащих пластов земли, возникают ультразвуковые волны определенной частоты и разряжаются "магнитные бури" которые и влияют известным образом на нервную и сердечно-сосудистую систему человека. Если принять во внимание это обстоятельство, то также становится понятным нарастающее влияние симпатического тонуса вегетативной регуляции. Причем как в случае с сердечно-сосудистой системой, отмечается такая особенность, чем дальше исследуемые находились от эпицентра землетрясения, тем сильнее реагирует вегетативная нервная система. В связи с вышеизложенным перед авторами данной работы встает закономерный вопрос. Какое место в вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы детей младшего школьного возраста проживающих на территории исследуемых районов имеют как социально-педагогические, экологические так и природно-климатические факторы. Однозначно ответить на поставленный вопрос не представляется возможным в виду малого объема анализируемого материала.

### **Выводы:**

1. Наиболее чувствительной к ряду факторов как социального так и природного характера является вегетативная нервная система действие которой проявляется в увеличении симпатического и снижении парасимпатического тонуса.
2. Для детей младшего школьного возраста исходным (адаптационно-трофическим) является симпатический тонус вегетативной нервной системы.
3. Реакция сердечно-сосудистой системы детей младшего школьного возраста в процессе адаптации к учебной нагрузке проявляется в повышении диастолического артериального давления и брадикардией у школьников города.

### **Литература:**

1. Алексеева Т.И. Адаптация человека в различных экологических нишах Земли. М. - 1998. - С.67.
2. Обреимова Н.И., Петрухин А.С. Основы анатомии, физиологии и гигиены детей и подростков. - М.: Academia. 2000. - С.156.
3. Хрипкова А.Г., Антропова М.В., Фарбер Д.А. Возрастная физиология и школьная гигиена. М.: Просвещение. 1990. - С 38.
4. Щедрина А.Г. Педология - наука о детстве как фундаментальная основа валеологии и педагогики. Новосибирск. 1996. - С 21- 22.
5. Kerdo, I. Statistical analysis of vegetative reactions under various meteorological conditions. Vortrag, gehalten am 5.IX.1963 zu Pau anlässlich des III. Internat. Kongresses d. Intern. Ges. f. Biometeorologie (kunfuge Publikation in den Proceedings des Kongresses, Pergamon Press, London).

**Горно-Алтайский государственный университет, г.Горно-Алтайск**

Понятие синдром посттравматического стресса - это состояние человека, испытывавшего трагические события, т.е. нечто ужасное, что не часто случается с людьми. В целом, травмирующим называется событие "выходящее за пределы нормального человеческого опыта".

В описываемом явлении можно выделить две стороны: это наличие в жизни человека травмирующего события и реакция человека на пережитое им событие.

Таким образом, говоря о посттравматическом стрессе, имеем в виду, что человек переживший одно или несколько травмирующих событий, которые глубоко затронули его психику. Эти события так резко отличались от всего предыдущего опыта или причинили настолько сильные страдания, что человек ответил на них бурной отрицательной реакцией.

Человек с нормальной психикой, пережив данное событие, пытается смягчить возникший дискомфорт и коренным образом меняет свое отношение к окружающему миру, чтобы жить стало немного легче. По каким симптомам мы можем определить, что у человека отсутствует возможность разрядить внутреннее напряжение, и его тело и психика нашли свой способ адаптироваться к напряжению? Укоренившиеся способы поведения связаны с экстремальными событиями в прошлом этого человека, они очень специфичны и в комплексе выглядят как психическое отклонение.

1. Немотивированная бдительность (человек пристально следит за всем, что происходит вокруг, словно ему постоянно угрожает опасность).

2. "Взрывная реакция" (при малейшей неожиданности человек делает стремительные защитные движения: резко оборачивается, принимает защитную или агрессивную стойку, прячется в укрытие, ложится на землю).

3. Притушенность эмоций (человек полностью или частично утратил способность к эмоциональному проявлению, ему трудно устанавливать близкие, дружеские отношения, ему недоступны радость, любовь, творческий подъем, игривость, спонтанность).

4. Агрессивность (стремление решать все проблемы, даже когда цель не является жизненно важной, с помощью грубой силы или брани).

5. Нарушение памяти и внимания.

6. Депрессия (в состоянии посттравматического стресса депрессия достигает самых темных и беспросветных глубин человеческого отчаяния: этому чувству сопутствуют нервное истощение, апатия, отрицательное отношение к жизни).

7. Общая тревожность (на физиологическом уровне может проявляться болями в спине, спазмы в желудке, головными болями, а на психологическом - постоянным беспокойством, озобоченностью, "параноидальными явлениями", постоянным чувством страха, неуверенностью в себе, комплексом вины).

8. Приступы ярости по силе подобны извержению вулкана, возникающие сами по себе или под воздействием алкоголя или наркотиков.

9. Злоупотребление алкоголем, наркотиками или лекарственными препаратами.

10. Непрошенные воспоминания (наиболее важный симптом, дающий основание говорить о наличии посттравматического стресса). В памяти человека внезапно всплывают жуткие сцены, связанные с травматической ситуацией и сопровождаются сильным чувством тревоги и страха. Образы прошлого могут приходить как наяву, так и во сне, вызывая ночные кошмары.

11. Галлюцинаторные переживания (они свойственны не всем людям). В этом состоянии человек вновь переживает травмирующее событие настолько ярко, что текущие отходят на

второй план, и он думает и чувствует так, как это было тогда, когда он спасал свою жизнь.

12. Бессонница (регулярное недосыпание из-за боязни увидеть кошмары, что приводит к нервному срыву, истощению; бессонница может быть вызвана высоким уровнем тревожности, неспособностью расслабиться).

13. Мысли о самоубийстве (это обычно бывает, когда человек находится на грани отчаяния).

14. "Вина выжившего" (сильное чувство вины иногда провоцирует приступы самоуничижительного поведения).

Все эти симптомы, складываются в картину особого психического состояния и поведения человека, описывают способ существования в этом мире, который называется "синдромом посттравматического стресса".

Так в исследованиях Горбарينو, Костельни и Диброу, 1991 выявлено, что маленькие дети, живущие в обстановке насилия, отличаются боязливостью, подавленностью и беспокойством за свою жизнь и жизнь близких. Многие из них не могут сосредоточить внимание на уроках и имеют множество проблем, связанных со школой. Они могут бояться быть брошенными своими родителями и пытаются скрыть свой страх под маской агрессивности и дерзости. У некоторых детей все эмоции притушаются, поскольку они боятся проявлять интерес и любовь к людям, которых в любое время могут убить или которые могут бросить. То есть, дети не привязываются к близким взрослым, которые обеспечивают им психологическую защищенность и уверенность.

Как это влияет на дальнейшее развитие ребенка? По мнению этих же авторов, психологические травмы испытанные в возрасте до 11 лет, часто становятся причиной проявления символов душевных расстройств в подростковом возрасте. Дети, жившие с постоянным ощущением исходящей от окружающего мира угрозы, страдают значительными задержками развития.

Высказав несколько общих положений проявления посттравматического стресса у детей и его влияния на дальнейшее развитие, далее подробно рассмотрим специфику реагирования детей на экстремальные природные стихийные бедствия.

Общность данных травматических ситуаций в том, что они носят внезапный чрезвычайный характер, средств защиты у населения от подобных ситуаций или нет или очень мало. На людей, находящихся в экстремальных условиях, действуют не только различные поражающие факторы, непосредственно угрожающие жизни и здоровью, но психологическое воздействие оказывает и ожидание угрозы. Под воздействием сверх сильных раздражителей происходит нарушение психической деятельности человека в виде реактивных (психологических) состояний. Психопатологические реакции психогенного характера выводит человека из строя, лишают его возможности продуктивного общения с другими людьми и целенаправленных действий. Симптомы посттравматического стресса могут сохраняться у человека на протяжении ряда лет. Причем отмечена такая закономерность: частота психических нарушений в момент стихийного бедствия невысока (от 10-25% при землетрясениях), но возрастает на последующих этапах развития ситуации (до 35%) и увеличивается в 2 раза спустя несколько лет. Ряд авторов отмечают смену модели поведения людей, которых они обследовали спустя 2 года после перенесения катастрофы. У 30% обследованных нарушения имели место спустя 4-5 лет: симптомы тревоги, деградации, погруженности, возбудимости, соматические расстройства, социальная изоляция и смена модели поведения (увеличилось потребление алкоголя, курение, потребление медикаментов). У многих отмечены нарушения засыпания и кошмарные сновидения.

При стихийных бедствиях тяжесть психических реакций и их продолжительность зависят от разрушающей силы стихийного бедствия, места, где находился человек: эпицентр разрушений или на периферии.

Специфику поведения детей в ситуации катастроф (землетрясения) подробно описал профессор В.С. Мухина (1992), которая руководила группой специалистов по оказанию

помощи людям, пережившим землетрясения в Армении в 1988 году.

Автор отмечает, что общая характеристика реакций детей на происходящее: как и у взрослых - это нарушение сна, страхи, навязчивые образы; у многих детей - потеря аппетита, нарушение контактности, регрессивные формы поведения; уход в сферу освоенного стереотипного; заражение образами разрушающихся домов, придавленных людей даже в тех случаях, когда дети не были непосредственными участниками, наблюдателями этих событий. У взрослого населения наблюдались те же жалобы и страхи. В отдельных случаях невротизация достигала предела, когда люди предпринимали бессмысленные действия или без умолку повторяли рассказ о своих субъективных переживаниях страха от землетрясения. Взрослые оказывали вторичное воздействие на детей своими эмоциональными переживаниями и действиями. Образовалось невротизирующее всех взаимодействие. При этом реакции детей носили более длительный характер по сравнению с реакциями взрослых. В тоже время обострялись хронические болезни, как у взрослых, так и детей.

В результате посттравматического стресса, возникшего после перенесения землетрясения, у детей происходят нарушения социального поведения, чаще возбудимого типа, что проявляется в выраженной агрессии по отношению к членам семьи, особенно к братьям и сестрам, появляются страхи и "невротические страхи", снижение продуктивности и работоспособности, очень часто личностная и интеллектуальная регрессия.

#### Литература

1. Мухина В.С. Помощь детям пережившим землетрясения. - М., 1992.

## **Горно-Алтайский государственный университет, г.Горно-Алтайск**

Произшедшее в сентябре 2003 года землетрясение в Горном Алтае и продолжающиеся подземные толчки привлекают внимание исследователей различных направлений. Особый интерес в этой связи представляет анализ социальных последствий землетрясения. Нами было проведено анкетирование жителей села Бельтир в марте 2004 года. Это время, когда улеглись первые эмоциональные оценки произошедшего, оценён ущерб, началось поступление помощи пострадавшим, начали функционировать специальные социальные программы. Всего было опрошено 104 человека ( 19 % мужчины и 81 % женщины).

90 % опрошенных пострадавших семей с. Бельтир состоят из 3-х и более человек, то есть в большинстве своём многодетные семьи, что характерно для данного региона в целом.



*Рис. 1. Разрушенная землетрясением школа*

Опрошены были в основном работающие (70 %), 14 % безработных и учащихся, таким образом анкетированию были подвергнуты наиболее социально активная часть села Бельтир. Поэтому возрастает значимость их оценки процесса ликвидации последствий землетрясения. Большинство опрошенных не имеет высшего образования, а лишь неполное среднее или средне специальное (90 %- мужчин и 77 % женщин). Это косвенно свидетельствует о некоторой социально обусловленной ограниченности возможностей населения села Бельтир.

Первая группа вопросов о последствиях землетрясения была посвящена проблемам непосредственного влияния этого события на жизнь, здоровье, настроения и материальное положение жителей.

Большинство опрошенных женщин (92%) испытали страх, испуг и растерянность. Эмоциональная реакция связана видимо с боязнью не только за себя, сколько за всю семью. Мужчины же напротив в большинстве своём (80 %) в дни землетрясения испытали реальное



ощущение крушения всего что было в жизни.

И мужчины и женщины отметили, что в результате землетрясения жильё пришло в аварийное состояние (соответственно 75 % и 66 %) на этом фоне более 60 % опрошенных указали на ухудшение здоровья (60 % мужчин, 64 % женщин), и как следствие большинством опрошенных высказывается необходимость в дополнительной врачебной помощи (60 % мужчин и 56 % женщин).

По прошествии пяти месяцев после основных толчков треть опрошенных продолжает испытывать чувство безысходности, страха и невыносимости жизни. Эта тенденция косвенно свидетельствует о том, что видимо не все социальные реабилитационные программы "дошли до каждого жителя", что остаётся ещё много неразрешённых проблем. Это во многом обусловлено общим уровнем социально-экономического развития региона, подвергшегося землетрясению, развитием социальной инфраструктуры. Наряду с этим интересны результаты опроса по проблемам отношения общества и государства к пострадавшим в непростых условиях землетрясения. Большинство опрошенных наряду с высокой оценкой государственной поддержки (50 % мужчин и 40 % женщин), в значительной степени надеются "на себя", собственные возможности (65 % мужчины и 30 % женщины) и помощь близких около 40 % опрошенных (соседей, родственников). Эта позиция так же во многом предопределяется традиционной культурой региона.

Хотя высокая оценка деятельности властных структур свидетельствует о достаточной эффективности политики правительства Республики Алтай в деле ликвидации последствий землетрясения. Косвенно подтверждают это данные опроса по оценке уровня разрешения вопросов по ликвидации последствий землетрясения. Большинство (90 % мужчин и 74 % женщин) персонифицирует "несвоевременность" решения проблем, связывают с деятельностью определённых представителей власти. Четверть опрошенных не исключают и влияния неблагоприятных обстоятельств.

На комплекс вопросов о приоритетах деятельности государственных служб, подавляющее большинство в своих ответах отметило острую необходимость в развёртывании республиканской исследовательской программы по предупреждению разрушительных последствий землетрясения. Другим направлением необходимой деятельности жители села Бельтир признают необходимость, быстро обустроить людей (25 %), оказать им врачебную помощь (20 %). Интересно, что необходимость финансовой поддержки отметили лишь 25 % женщин.

# СПИСОК ВИДОВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ, ОТМЕЧЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ, ПОДВЕРГШЕЙСЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ

Долговых С.В., Богомолова И.Н., Кеденов А.Г., Копунова Я.Н.,  
Горбунова Е.А., Возийчук О.П.

Горно-Алтайский государственный университет, г.Горно-Алтайск  
Институт систематики и экологии животных СО РАН, г.Новосибирск  
Алтайский государственный природный заповедник, с.Яйлю

Мелкие млекопитающие - животные, ведущие норный образ жизни или обитающие в лесной подстилке. Поэтому землетрясение, начавшееся осенью 2003 г. и продолжающееся по настоящее время на территории Горного Алтая, оказывает на них непосредственное воздействие. Пары ртути, радон, торон, поднимающиеся по сети трещин, образовавшихся в результате землетрясения, подвижки грунта в эпицентрах, сказываются на них не самым лучшим образом. Эти животные, в отличие от крупных млекопитающих и птиц, как правило, не способны на значительные миграции, и на них в первую очередь, сказываются воздействия землетрясения. Поэтому сведения об изменении видового состава, распределении и численности мелких млекопитающих на территории, подвергшейся землетрясению, могут сыграть важную роль в изучение его воздействия на живые организмы.

В 1999 году проходили учеты населения мелких млекопитающих в окрестностях села Улаган. Животных отлавливали в 50-ти метровые канавки с 5 ловчими конусами на одну треть заполненными четырех процентным раствором формалина. Учеты проходили с 16 июля до конца августа, всего было обследовано 17 местообитаний. Исползованный метод учета не вполне адекватно отражает численность сибирского крота, алтайской пищухи и длиннохвостого суслика. Обработка материала была произведена в 2003 году в Институте систематики и экологии животных СО РАН. Большинство названий видов даны по Каталогу млекопитающих СССР [1981], кроме арктической бурозубки (*Sorex arcticus*), которую в пределах восточного полушария, мы, вслед за М.В. Охотиной, называем тундряной (*S. tundrensis*) [1983] и малой лесной мыши (*Sylvaemus uralensis*) систематика которой изменилась [Громов, Ербаева; 1995]. Физико-географическое районирование Восточного Алтая проводилось согласно Атласу Алтайского края [1991].

Всего было выявлено 17 видов мелких млекопитающих (см. табл. 1, раздел I). Этот список видов несколько отличается от списка видов зарегистрированных нами в окрестностях села Саратан в 2000 году, когда учеты были проведены в 13 ландшафтных урочищах [Долговых, Богомолова, Кеденов и др.; 2003] (табл. 1, раздел II). ЮФ. Марин [1980] выявил методами ловчих канавок и ловушко-линий на территории Чулышманского района Алтайского государственного заповедника несколько иной список мелких млекопитающих (табл. 1, раздел III). Определение видового состава представителей отряда насекомоядных им не проводилось. Один из авторов этого сообщения, Горбунова Е.А., с 1988 по 1995 гг. проводила учеты методом ловушко-линий и ловчих канавок в бассейне реки Чулышман (территория АГПЗ) и окрестностях кордона Чодро (сопредельная территория Алтайского заповедника) и приводит другой список мелких млекопитающих (табл. 1, раздел IV).

Таким образом, общий список мелких млекопитающих зарегистрированных на территории Восточного Алтая состоит из 26 видов: сибирский крот (*Talpa altaica*), обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus*), тундряная бурозубка (*S. tundrensis*), плоскочерепная бурозубка (*S. vir*), средняя бурозубка (*S. caecutiens*), малая бурозубка (*S. minutus*), равнозубая бурозубка (*S. isodon*), обыкновенная кутора (*Neomys fodiens*), лесная мышовка (*Sicista betulina*), малая лесная мышь (*Apodemus uralensis*), восточноазиатская мышь (*A. peninsulae*), полевая мышь (*A. agrarius*), домовая мышь (*Mus musculus*), большепушная полевка (*Alticola macrotis*), красно-серая полевка

(*Clethrionomys rufocanus*), рыжая полевка (*Cl. glareolus*), красная полевка (*Cl. rutilus*), лесной лемминг (*Myopus schisticolor*), водяная полевка (*Arvicola terrestris*), узкочерепная полевка (*Microtus gregalis*), полевка-экономка (*M. oeconomus*), темная полевка (*M. agrestis*), обыкновенная полевка (*M. arvalis*), длиннохвостый суслик (*Citellus undulatus*), барабинский хомячок (*Cricetulus barabensis*), алтайская пищуха (*Ochotona alpina*).

Таблица 1

Список видов мелких млекопитающих, учтенных ловчими канавками в Восточном Алтае в окрестностях села Улаган (16.07-31.08 1999 г.) (I), в окрестностях села Саратан (16.07-31.08 2000 г.) (II), а также ловчими канавками и ловушками в Чульшманском районе Алтайского заповедника (1971-1973, 1977, 1978 гг.) (III) и в долине р. Чульшман и в окрестностях кордона Чодро (1988-1995).

Окрестности с. Улаган (I)	Окрестности с. Саратан (II)	Чульшманский район (III)	Долина р. Чульшман и к. Чодро (IV)
Сибирский крот ( <i>Talpa altaica</i> )	Сибирский крот ( <i>Talpa altaica</i> )	Лесная мышовка ( <i>Sicista betulina</i> )	Сибирский крот ( <i>Talpa altaica</i> )
Тундряная бурозубка ( <i>Sorex tundrensis</i> )	Обыкновенная бурозубка ( <i>Sorex araneus</i> )	Малая лесная мышь ( <i>Apodemus uralensis</i> )	Обыкновенная бурозубка ( <i>Sorex araneus</i> )
Плоскочерепная бурозубка ( <i>Sorex vir</i> )	Тундряная бурозубка ( <i>Sorex tundrensis</i> )	Полевая мышь ( <i>Apodemus agrarius</i> )	Средняя бурозубка ( <i>Sorex caecutiens</i> )
Средняя бурозубка ( <i>Sorex caecutiens</i> )	Плоскочерепная бурозубка ( <i>Sorex vir</i> )	Восточноазиатская мышь ( <i>Apodemus peninsulae</i> )	Малая бурозубка ( <i>Sorex minutus</i> )
Лесная мышовка ( <i>Sicista betulina</i> )	Средняя бурозубка ( <i>Sorex caecutiens</i> )	Большеухая полевка ( <i>Alicicola macrotis</i> )	Равнотрубная бурозубка ( <i>Sorex isodon</i> )
Малая лесная мышь ( <i>Apodemus uralensis</i> )	Лесная мышовка ( <i>Sicista betulina</i> )	Красно-серая полевка ( <i>Clethrionomys rufocanus</i> )	Обыкновенная кутора ( <i>Neomys fodiens</i> )
Восточноазиатская мышь ( <i>Apodemus peninsulae</i> )	Малая лесная мышь ( <i>Apodemus uralensis</i> )	Рыжая полевка ( <i>Clethrionomys glareolus</i> )	Малая лесная мышь ( <i>Apodemus uralensis</i> )
Домовая мышь ( <i>Mus musculus</i> )	Восточноазиатская мышь ( <i>Apodemus peninsulae</i> )	Красная полевка ( <i>Clethrionomys rutilus</i> )	Большеухая полевка ( <i>Alicicola macrotis</i> )
Красно-серая полевка ( <i>Clethrionomys rufocanus</i> )	Красно-серая полевка ( <i>Clethrionomys rufocanus</i> )	Лесной лемминг ( <i>Myopus schisticolor</i> )	Красно-серая полевка ( <i>Clethrionomys rufocanus</i> )
Красная полевка ( <i>Clethrionomys rutilus</i> )	Рыжая полевка ( <i>Clethrionomys glareolus</i> )	Водяная полевка ( <i>Arvicola terrestris</i> )	Красная полевка ( <i>Clethrionomys rutilus</i> )
Лесной лемминг ( <i>Myopus schisticolor</i> )	Красная полевка ( <i>Clethrionomys rutilus</i> )	Узкочерепная полевка ( <i>Microtus gregalis</i> )	Полевка-экономка ( <i>Microtus oeconomus</i> )
Водяная полевка ( <i>Arvicola terrestris</i> )	Лесной лемминг ( <i>Myopus schisticolor</i> )	Полевка-экономка ( <i>Microtus oeconomus</i> )	Темная полевка ( <i>Microtus agrestis</i> )
Узкочерепная полевка ( <i>Microtus gregalis</i> )	Водяная полевка ( <i>Arvicola terrestris</i> )	Темная полевка ( <i>Microtus agrestis</i> )	Обыкновенная полевка ( <i>Microtus arvalis</i> )
Полевка-экономка ( <i>Microtus oeconomus</i> )	Узкочерепная полевка ( <i>Microtus gregalis</i> )	Обыкновенная полевка ( <i>Microtus arvalis</i> )	Алтайская пищуха ( <i>Ochotona alpina</i> )
Темная полевка ( <i>Microtus agrestis</i> )	Полевка-экономка ( <i>Microtus oeconomus</i> )		
Суслик длиннохвостый ( <i>Citellus undulatus</i> )	Темная полевка ( <i>Microtus agrestis</i> )		
Хомячок барабинский ( <i>Cricetulus barabensis</i> )	Обыкновенная полевка ( <i>Microtus arvalis</i> )		

Мы надеемся, что сведения, предоставленные нами по видовому составу мелких млекопитающих Восточного Алтая, помогут при дальнейшем изучении последствий землетрясения на этой территории

#### Литература

1. Каталог млекопитающих СССР. М., 1981, 456с.
2. Охотина М.В. Таксономическая ревизия арктической бурозубки - *Sorex arcticus* Kerr. 1792 (Soricidae, Insectivora) // Зоологический журнал. 1983, т. 62, № 3, С.409-417.
3. Громов И.М., Ербаева М.А. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. /Зайцеобразные и грызуны/. - С-Пб., 1995. 522 с.
4. Атлас Алтайского края. - Госгосдезия СССР: Новосибирская картографическая фабрика, 1991. - С. 21.
5. К характеристике населения мелких млекопитающих долины реки Башкаус (Восточный Алтай) // Сохранение этнокультурного и биологического разнообразия горных территорий через стратегии устойчивого развития. Материалы Международной научно-практической конференции посвященной Международному Году Гор - 2002. (24-27 сентября 2002 г., г. Горно-Алтайск), часть 2, Горно-Алтайск, 2003, С.146-151.
6. Марин Ю.Ф. Население мышевидных грызунов Алтайского государственного заповедника (Восточный Алтай) // Фауна и экология позвоночных Сибири. Новосибирск, Наука, 1980, С.58-78.

С 9 по 14 октября 2003 года проходила комплексная экспедиция сотрудников Горно-Алтайского государственного университета, изучавшая последствия землетрясения на территории Кош-Агачского района. Были обследованы окрестности сел Курай, Бельтир, частично Чаган-Узун, долины рек Актуру, Талдура, урочище Пик и Ивирму. Так как основное внимание участников экспедиции было сосредоточено на выявление геофизических изменений, возникших в результате землетрясения, биологические исследования велись попутно или выявлялись путем опроса жителей этих территорий.

**По сообщению жителей села Бельтир:**

- *Сибирский горный козел (*Capra sibirica*) перестал встречаться в районе землетрясения примерно за месяц.*
- *Рыба ушла с водоемов расположенных в районе землетрясения. Эта миграция отличалась от зимовальной, когда часть рыбы остается в местах удобных для зимовки. Возможно, это связано с изменением химического состава воды (сведения взяты из Специализированной Инспекции Аналитического Контроля, руководитель - к.х.н., доцент В.Г. Ушакова). По свидетельству жителей села Онгудай были отмечены случаи вылова алтайского османа (*Oreoleuciscus potanini*, *O. humilis*) в устье реки Урсул, где ранее он не встречался. Алтайские осмапы - виды, обитающие в высокогорье Алтая, как правило, встречающиеся в реках и озерах Кош-Агачского и Улаганского районов. По свидетельству рыбаков находившихся в момент землетрясения в районе озера Шавло, рыбу не удавалось поймать ни перед началом землетрясения, ни спустя несколько дней, хотя они находились в этом районе с 26 сентября по 2 октября. Оттенки воды озера изменился, она стала более мутная, появлялась взвесь.*
- *Серый (алтайский) сурок (*Marmota baibacina*), залегший в зимнюю спячку в первых числах сентября, в середине сентября проснулся и проявлял определенную активность. После первых, наиболее сильных толчков снова залег в спячку.*

В момент нахождения членов экспедиции в районе землетрясения активность серого сурика нами зафиксирована не была, хотя алтайская (альпийская) пищуха (*Ochotona alpina*) и длиннохвостый суслик (*Citellus undulatus*) проявляли некоторую активность особенно в районе урочища Арха-Узюк, где произошло значительные подвижки грунта.

По нашим наблюдениям 10 октября 2003 г. в долине реки Актуру, следы копытных животных (марала, сибирской косули) были отмечены только на границе леса и степи, хотя члены экспедиции проехали долину от степи практически до ледника. В этот же день, в районе 16 часов, нами был замечен серый волк, на открытом участке Курайской степи. Во время повторного нахождения в долине реки Актуру, 26 ноября 2003 г. в горной ее части следы копытных (марала, кабарги), а так же белки, зайца и соболя были отмечены практически по всей ее длине. Так же было отмечено увеличение численности мелких воробьиных птиц.

С 11 по 13 октября, во время нахождения членов экспедиции в селе Бельтир, поведение домашних животных на продолжающиеся толчки и вибрации было различным. Так в некоторых случаях, перед началом сильного толчка, собаки затевали ожесточенные лай и драки, хорошо слышные в ночное время. В некоторых случаях собаки на толчки не реагировали. Такое же

поведение, по словам жителей села Бельтир, наблюдалось у крупнорогатого скота.

Хотя учеты населения птиц в районе сел Бельтир, Курай прилегающие к ним территориям, а так же вдоль Чуйского тракта от с. Курая до с. Чаган-Узуна нами не проводились, визуально наблюдалось снижение численности птиц, которое было представлено преимущественно семейством Вранновые: ворон (*Corvus corax*), ворона (*Corvus corone*), клушица (*Puffinus puffinus*).

Таким образом, землетрясение в Копп-Агачском районе вызвало миграцию из этого района рыб, части млекопитающих и птиц и изменило физиологические аспекты животных не способных к миграции.

Институт систематики и экологии животных СО РАН, 630091, Новосибирск, ул.  
Фрунзе - 11, E-mail: zm3@eco.nsc.ru

На юге Западной Сибири 27 сентября 2003 г. произошли первые толчки Алтайского (Чуйского) землетрясения. Эпицентр его находился вблизи села Бельтир Кош-Агачского района Республики Алтай, т.е. в 650 км к юго-востоку от Новосибирска. Толчки ощущались в Иркутске, Красноярске, Кемерове, Томске и Новосибирске. В Новосибирске землетрясение было мощностью около 2-3 баллов, первые толчки произошли около 18 часов 35 минут местного времени.

Покинув дом, я взял бинокль и пошел на южную окраину левобережной части города (окраина Загулинского жилого массива) для того, чтобы скоротать время вне дома. Увидев стаи летящих чаек, я провел учет мигрирующих птиц. Учет птиц с наблюдательного пункта (НП) проведен в течение 40 минут, с 19.00 до 19.40. За это время на юг и юго-восток пролетело около 2 тыс. чаек. Чайки летели со стороны реки Обь в сторону Новосибирского водохранилища. В основном это были озерные чайки (*Larus ridibundus* Linnaeus, 1766), лишь около 5% составили сизые чайки (*Larus canus* Linnaeus, 1758). Возможно, было и несколько хохотуний (*Larus cachinnans* Pallas, 1811). Интенсивность пролета равнялась около 3 тыс. особей/час в полосе шириной около 2 км. В полосе шириной 1 км это составило 1,5 тыс. особей/час. Чайки летели крупными стаями от 20 до 600 особей. В полете они выстраивались крупными клиньями по 20-400 птиц в каждом.

Ежегодно над Новосибирском и в его окрестностях в основном в сентябре и октябре проходит осенний пролет чаек. В это время на пролете преобладают озерная чайка, несколько меньше сизой и еще меньше серебристой (в широком смысле) чайки (*Larus argentatus* Pontoppidan, 1763. sensu lato). Среди последней, по-видимому, преобладает хохотунья (*Larus cachinnans* Pallas, 1811). Часть чаек совершает суточные перелеты. Утром они летят с Новосибирского водохранилища на реку Обь и спускаются по (и над) ней вниз по течению, а вечером возвращаются на водохранилище на ночевку над Обью и напрямую, т.е. над городом и его окрестностями.

По-видимому, часть чаек, отмеченных мной вечером 27 сентября, принадлежали к группе совершающих суточные перелеты. Однако, контрольный учет чаек, проведенный на следующее утро с того же НП, показал, что возврата чаек на реку Обь (над местом проведения учета) не было. Учет проведен в течение трех часов: с 7.15 по 10.15 местного времени. Отмечено только 4 сизых чайки, пролетевших на запад (одно из направлений осеннего отлета чаек). Возможно, часть чаек вернулись утром с водохранилища на реку Обь непосредственно над рекой (т.е. вне зоны видимости с НП). Второй контрольный учет чаек, проведенных с этого же НП вечером 28 сентября, показал, что осенний пролет продолжается, но уже не с такой интенсивностью, как 27 сентября. Так, в этот день учет с того же НП проведен в течение 1,5 часов: с 17.55 по 19.25 местного времени. За это время учтено 153 сизых чайки и 109 озерных. Все чайки пролетели на юго-восток. Интенсивность пролета чаек составила 175 особей/час в полосе 2 км. Интенсивность пролета в полосе 1 км составила 88 чаек/час. Это в 17 раз меньше, чем вечером 27 сентября, т.е. в день землетрясения.

Охарактеризуем орнитологическую обстановку в районе плотины Новосибирской ГЭС днем 27 сентября, т.е. в момент, предшествующий землетрясению. Мне довелось совершить орнитологическую экскурсию на левом берегу Оби и водохранилища за несколько часов до

землетрясения. Итак, в районе нижнего бьефа водохранилища в этот день находилось около 1 тыс. особей сизой чайки (ad и subad), около 500 особей озерной чайки (ad и subad) и около 20 особей хохотуны. Большинство чаек кружилось над водой, прошедшей через турбины ГЭС в поисках оглушенной рыбы. На самом водохранилище со стороны левого берега птиц было мало, изредка пролетали 1-2 сизых или озерных чаек. Кроме того, здесь же пролетело 2 взрослых черноголовых хохотуна (*Larus ichthyetus* Pallas, 1773). Вдали низко над водой пролетел одиночный обыкновенный гоголь *Vincerphala clangula* (Linnaeus, 1758).

Около левого берега водохранилища над мелководным заливом с прозрачной водой около 20 минут кружился одиночный морской голубок (*Larus genei* Breme, 1840). Чайка время от времени пикировала в воду залива так, как это делают крачки. От озерной чайки он отличался несколько большими размерами, большим изяществом пропорций тела и, особенно, более тонким и длинным клювом. Концы первостепенных маховых этой особи имели темные пятна, поэтому по краю крыла проходила темная полоска, образованная этими пятнами. Определить эту чайку удалось благодаря прекрасным рисункам и описанию этой чайки в определителе [Рябицев, 2001]. Морской голубок в районе Новосибирска отмечен впервые.

### Литература

Рябицев В.К. Птицы Урала, Приуралья и Западной Сибири: Справочник-определитель. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2001. - 608 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

<i>А.Ф. Еманов, В.С. Селезнев, С.В. Гольдин, А.А. Еманов, А.Г. Филина, Ю.И. Колесников, А.В. Фатеев, Е.В. Лескова, М.А. Ярыгина</i> ЧУЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ И ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ .....	3
<i>И.С.Новиков, А.Ф.Еманов, А.А.Еманов, Е.В.Лескова, А.Р.Азатова, Е.М.Высоцкий, Е.В.Деев</i> СДВИГОВАЯ МОДЕЛЬ НЕОТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АЛТАЯ, И ЕЕ ПРОВЕРКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ 2003 Г. ....	15
<i>А.А.Еманов, Е.В.Лескова</i> НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ .....	21
<i>А.В.Лисейкин, В.С.Селезнев, В.М.Соловьев</i> СЕЙСМОТОМОГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО ДАННЫМ ОТ АФТЕРШОКОВ .....	29
<i>Н.Н.Неведрова, Е.Ю.Антонов</i> ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОЕНИЯ И ГЕОДИНАМИКИ ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ ГОРНОГО АЛТАЯ .....	37
<i>В.В. Кузнецов</i> СИЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ В ЭПИЦЕНТРЕ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАК РЕЗУЛЬТАТ ВЫХОДА УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ .....	47
<i>Кузнецов В.В., Холматов С.Ю.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ИНФРАЗВУКА В ПЕРИОД АФТЕРШОКОВОЙ АКТИВНОСТИ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (АЛТАЙ, 27.09.2003) .....	66
<i>А.Н.Дмитриев</i> ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И МЕЖГЕОСФЕРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ .....	82
<i>С.Г. Платонова</i> ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 27 СЕНТЯБРЯ 2003 Г. В ГОРНОМ АЛТАЕ .....	95
<i>В.Е. Кац, Ю.В. Робертус</i> ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ .....	99
<i>В.Г.Ушакова, Т.В.Большух</i> ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ АЛТАЙ .....	102
<i>М.С.Достовалова</i> ОПОЛЗНЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЧУЙСКОЙ СЕЙСМОАКТИВНОЙ ЗОНЕ .....	105
<i>М.С. Достовалова</i> РАЗВИТИЕ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2003Г. ....	110

<i>В.С.Селезнев, В.М.Соловьев, А.Ф.Еманов, А.С.Сальников</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ АЛТАЕ - САЯНСКОГО СЕЙСМОАКТИВНОГО РЕГИОНА .....	120
<i>А.Ю.Гвоздарев, С.С.Драчев, С.В.Трифанова, А.В.Шитов</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ЭКСПЕДИЦИЕЙ ГАГУ .....	127
<i>А.Ю. Гвоздарев, А.Н. Дмитриев, А.В.Шитов</i> ДИСКОИДНЫЕ ОБЛАКА В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ .....	134
<i>А.Н.Дмитриев, А.В. Шитов, А.Ю. Гвоздарев</i> МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ АЛТАЙСКОГО (ЧУЙСКОГО) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ .....	143
<i>А.Ю. Гвоздарев</i> РЕАКЦИЯ ШТОРМГЛАССА НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ .....	148
<i>В.П.Парначёв, Н.С. Есеева</i> О СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ .....	151
<i>Г.В. Вяткина</i> ОБ АКТУАЛИЗАЦИИ МИФОЛОГИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ НА ФОНЕ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ .....	156
<i>О.В. Шестакова, Ж.Г. Шестернина</i> К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ .....	160
<i>Е.Г.Воронков, Е.Г.Воронкова, Е.Н.Скворцова, Е.Н.Скворцова, Э.С.Везляева</i> СОСТОЯНИЕ ВЕГЕТАТИВНОГО ТОНУСА И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ В ПРОЦЕССЕ АДАПТАЦИИ К ШКОЛЕ НА ФОНЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	163
<i>М.П. Долговых</i> ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ .....	169
<i>О.А.Гончарова, В.Г.Бабин, А.С.Фетисов</i> СОЦИАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ГОРНОМ АЛТАЕ .....	172
<i>Долговых С.В., Богомоллова И.П., Кеденов А.Г., Кокунова Я.П., Горбунова Е.А., Вознейчук О.П.</i> СПИСОК ВИДОВ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ, ОТМЕЧЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ, ПОДВЕРГШЕЙСЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ	174
<i>С.В.Долговых</i> БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, ОТМЕЧЕННЫЕ В КОШ-АГАЧСКОМ РАЙОНЕ, НА ТЕРРИТОРИИ, ПОДВЕРГШЕЙСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ .....	177
<i>В.С. Жуков</i> ОСЕННИЙ ОТЛЕТ ЧАЕК В РАЙОНЕ НОВОСИБИРСКА, ВЫЗВАННЫЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ? .....	179

**«АЛТАЙСКОЕ (ЧУЙСКОЕ) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ: ПРОГНОЗЫ,  
ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОСЛЕДСТВИЯ»**

Материалы научно-практической конференции

**Ответственный редактор:** *А.В. Шитов,*  
**Технический редактор:** *А.Ю. Коврига*

**ISBN 5-85127-288-0**

Сдано в набор 10.08.2004. Подписано в печать 17.08.2004.

Формат 60x84/16. Гарнитура Times. Бумага офсетная.

Печать оперативная.

Усл. Печ. л. 22,75 Тираж 100 экз. Заказ 2109.

Типография

Бийского педагогического государственного университета  
659333, г.Бийск, ул.Короленко, 53.