

АЛТАЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ СЕНТЯБРЯ - ОКТЯБРЯ 2003 ГОДА

Б. Г. Семенов

ОАО «Геологическое предприятие «Алтай-Гео», с. Майма

ВВЕДЕНИЕ

Детальный анализ обстановок Алтайского землетрясения сентября-октября 2003 г. в юго-восточном Горном Алтае необходим, поскольку, как я полагаю, серьезного обобщающего фактографического анализа землетрясения еще никем не было сделано, несмотря на множество статей, опубликованных в специализированных изданиях и СМИ. Наиболее мощными – с магнитудой 6,8-7,3 - были первые сейсмические удары: 27 сентября около 18-00 часов и 01 октября в 8-04 часов. Важнейший вопрос: какие геологические структуры были активизированы? Именно правильный ответ на этот вопрос должен привести к цели: в каких физико-механических условиях произошло землетрясение и чего ждать дальше.

Сейсмическая активность, проявляющаяся на Земле в различных масштабах и физико-географических обстановках, является свидетельством процессов, происходящих в глубинах планеты, является свидетельством жизни Земли. Сейсмически активными на Земле являются все молодые горные системы: Анды – Кордильеры, Камчатка, Курилы, Кавказ, Памир, Тянь-Шань, Алтай, Саяны, Гималаи, горы Малазии, горные системы, окружающие Средиземное море и другие.

В современном сейсмическом плане молодая горная Алтае-Саянская система как бы «светится» на фоне инертных в сейсмическом отношении Западно-Сибирской низменности, Кузбасса и Сибирской платформы между речья Енисея – Лены (рис. 1). На периферии сейсмически активной Алтае-Саянской горной системы «высвечиваются» эпицентры очень слабых техногенных землетрясений, связанных с проседанием отработанных шахтных полей Кузбасса и изостатическими процессами в районе водохранилищ (Бухтарминского, Новосибирского, в частности).

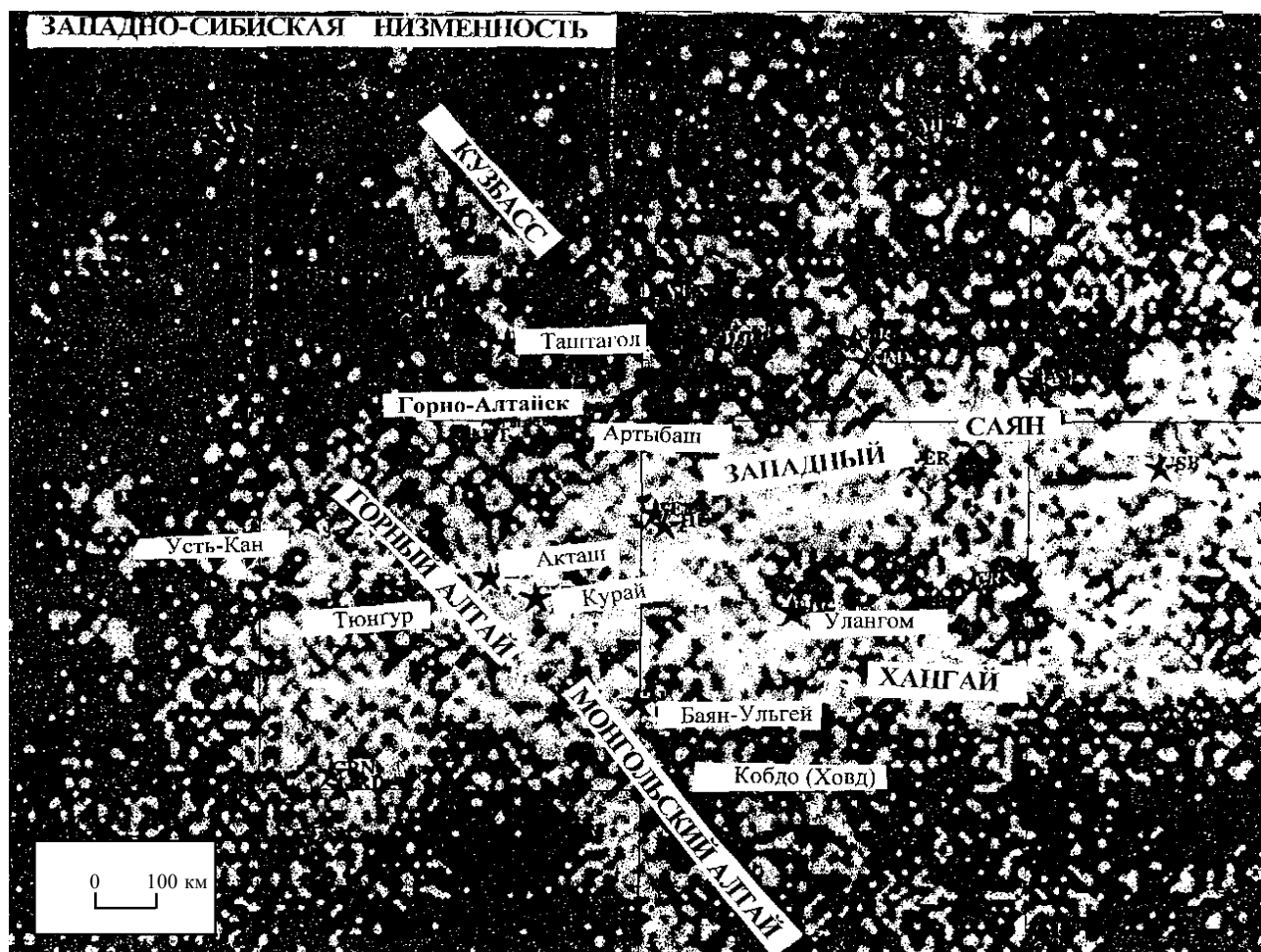


Рис. 1. Обзорная карта сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области за период 1963-1998 годы.

Светлые области - сейсмически активные территории (плотность распределения эпицентров землетрясений), темные области - асейсмичные территории.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ГОРНОГО АЛТАЯ

Понимание природы Алтайского землетрясения сентября-октября 2003 года невозможно в отрыве от знания предшествующей характеристики сейсмичности Горного Алтая (в частности) и окружающих природных систем. Палеосейсмические данные о сейсмической активности Горного Алтая в «геологический» период (не ранее 8 – 10 тыс. лет назад) были получены в ходе проведения ГСР-50 и специализированных палеосейсмических исследований конца 20-ого века. Отрывочные наблюдения о сейсмичности Горного Алтая были получены сейсмическими станциями европейской части России, начиная примерно с 1770-1775 г.г. (так называемый «доинструментальный» период). Регулярные сейсмические наблюдения проводились на территории Горного Алтая в период 1963-1998 г.г. (так называемый «инструментальный» период) сейсмическими станциями, располагавшимися в с.с. Артыбаше, Усть-Кане, Акташе, Тюнгуре. Указанные данные являются единственным фактографическим материалом по сейсмичности Горного Алтая. Следует отметить, что в устных преданиях алтайцев и казахов, проживающих на территории Горного Алтая, отсутствует какая-либо информация о разрушительных землетрясениях, произошедших до 1770 года. Последнее может быть объяснено следующими причинами: первое – разрушительных землетрясений попросту не было, второе – плотность населения в эпицентральной части была значительно менее 1 чел. на 1 000 км² (образно говоря, постоянное население отсутствовало).

Следует отметить, что 35 лет регулярных сейсмических наблюдений по воле случая выпали на относительно спокойный (фоновый) период сейсмической активности Горного Алтая: в течение этих 35 лет на Горном Алтае фиксировались землетрясения с магнитудой не более 2,0-2,5. Плотность эпицентров землетрясений, по данным инструментальных измерений 1963-1998 г.г., оказалась неодинаковой (рис. 2). Максимальная – свыше 250 - 300

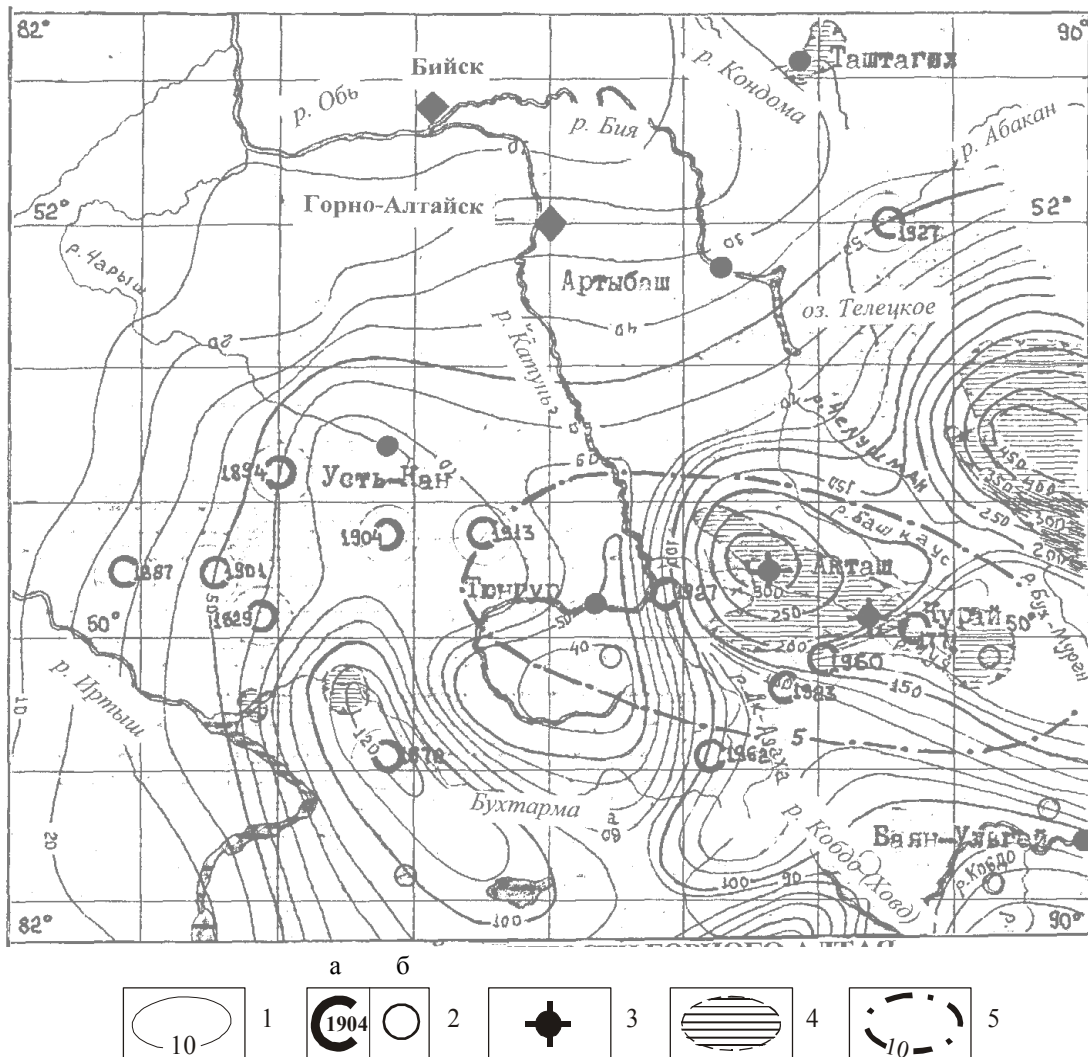


Рис. 2. Карта сейсмичности Горного Алтая.

1 - изолинии плотности эпицентров землетрясений за период 1963-1998 годы, цифры - количество землетрясений за 35 лет инструментальных наблюдений; 2 - эпицентры землетрясений: а - с магнитудой более 5 (период 1771-1963 гг.), б - с магнитудой 2-2,5 (период 1963-1998 гг.); 3 - положение эпицентров с магнитудой > 6 Алтайского землетрясения 2003 г.; 4 - ареалы наибольшей плотности эпицентров землетрясений 1963-1998 гг. Чуйско-Курайской очаговой области; 5 - изосейсмы Алтайского землетрясения 2003 г. по данным СО РАН (цифры - балльность воздействия землетрясения).

землетрясений за 35 лет инструментальных наблюдений (свыше 7,1 - 8,6 землетрясений ежегодно) – плотность эпицентров (и сейсмическая активность) землетрясений в этот период оказалась географически приуроченной к восточной части Северо-Чуйских белков (хребта) в полосе от с. Бельтир до с. Акташ и к южному склону Курайского хребта в полосе от с. Кош-Агач до котловины озера Соролу-Кель. Средняя сейсмическая активность – 100 - 250 эпицентров землетрясений за 35 лет инструментальных наблюдений (2,8-7 землетрясений ежегодно) – оказалась характерна для более значительной площади высокогорной части Горного Алтая, охватывающей бассейны рек Чуя и Башкаус. Слабая сейсмическая активность – с плотностью 50-100 эпицентров (1,4-2,8 землетрясений ежегодно) землетрясений за 35 лет – оказалась характерна для среднегорной части Горного Алтая и района Катунских белков. Периферия сейсмически активной полосы – с плотностью 10-50 эпицентров землетрясений (0,28-1,4 землетрясения ежегодно) - охватывает низкогорную часть Горного Алтая, включая и г. Горно-Алтайск. Горные территории Хакасии, Тывы, Монголии и Китая, прилегающие к Горному Алтаю, за этот же период (1963-1998 г.г.) характеризуются несколько большим количеством землетрясений с максимальной (свыше 400) плотностью их эпицентров в 100 км к северо-востоку от озер Джулукуль и Хиндикти-Коль.

Более ранние сейсмологические данные «доинструментального» периода показывают, что относительно мощные, с магнитудой 5,0 и более, землетрясения на Горном Алтае происходили в следующие годы (рис. 2):

- 1771 год (Монгольское землетрясение). По данным [1] его магнитуда оценивается в 7,7-8,3, а эпицентр относится к району сел Курай – Чаган-Узун в юго-восточном Горном Алтае.

- 1894 год. Рядовое пятибалльное (по шкале MSK-64) землетрясение с эпицентром в 100 км западнее с. Усть-Кан;

- 1904 год. Рядовое пятибалльное (по шкале MSK-64) землетрясение с эпицентром на северной окраине Абайской степи;

- 1913 год. Рядовое пятибалльное (по шкале MSK-64) землетрясение с эпицентром в 70 км севернее с. Усть-Кокса;

- 1923 год. Рядовое пятибалльное (по шкале MSK-64) землетрясение с эпицентром в долине р. Карагем;

- 1927 год. Рядовое пятибалльное (по шкале MSK-64) землетрясение с эпицентром в приустьевой части р.

Аргут;

- 1931 год. Монголо-Алтайское (Фуяньское) землетрясение в северо-западном Китае с магнитудой 8,3.

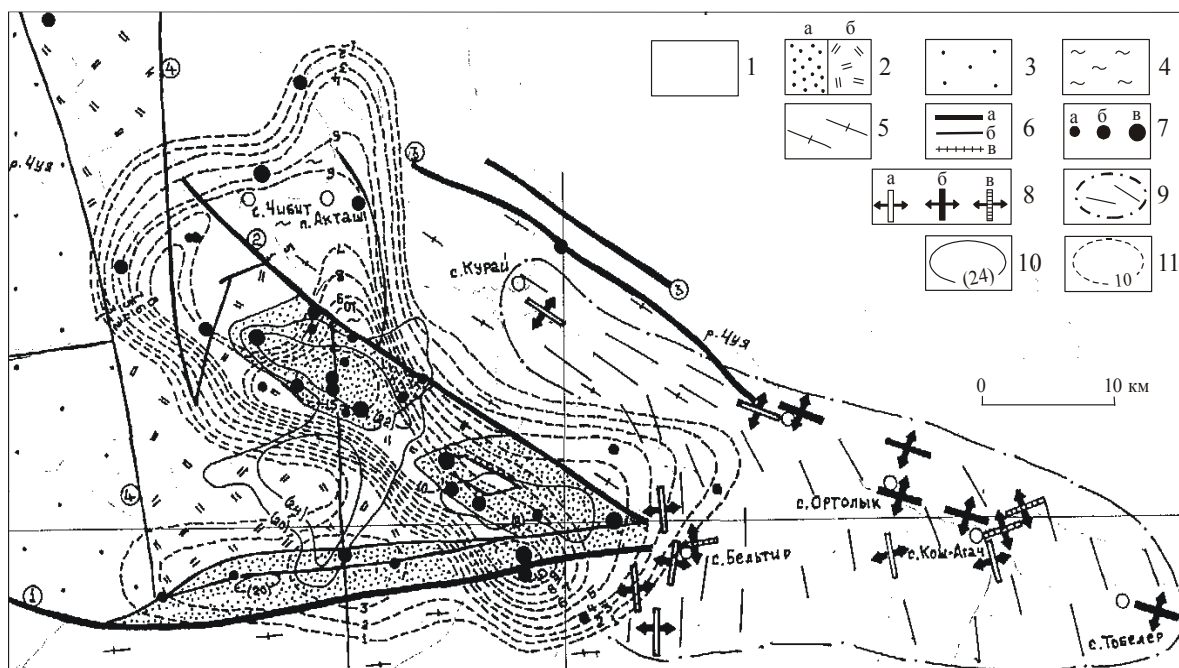


Рис. 3. Карта удельной сейсмической энергии Алтайского землетрясения.

1-5 - геологические комплексы: 1 - палеоген-четвертичные межгорных впадин, 2 - девонские карбонатно-терригенные (а) и вулканогенные (б), 3 - ордовик-силурийские карбонатно-терригенные, 4 - кембро-ордовикские метафлишиодные, 5 - докембрийские метаморфические; 6 - разломы: а - главные (1-Чарышско-Теректинский, 2-Северо-Чуйский, 3-Курайско-Сарасинский, 4-Бельгебашский), б - второстепенные, в - сейсмически активизированные; 7 - эпицентры сейсмических ударов периода 27.09. - 17.10.2003 г. и их магнитуда: а - до 3,0, б - 3,0-6,0, в - более 6,0; 8 - сейсмические трещины отрыва: а - «облекающие», б - «региональные» Курайской системы, в - «региональные» Чарышско-Теректинской системы (стрелками показаны направления растяжения); 9 - область изменения гидрологического режима и развития трещинных сейсмодислокаций в рыхлых отложениях (штрихами показано структурное положение трещин отрыва, вызванных прохождением продольных Р-волн); 10 - локальные отрицательные аномалии поля силы тяжести с абсолютными значениями в усл. ед.; 11 - аддитивные изомagnitude плотности сейсмической энергии Алтайского землетрясения за период 27.09. - 17.10.2003 г.

- 1956 год. Рядовое пятибалльное (по шкале MSK-64) землетрясение с эпицентром в г. Горно-Алтайске. Вероятно, это землетрясение явилось «отголоском» разрушительного Гоби-Алтайского землетрясения 1956 года с магнитудой 7,5-8,0. Прямыми наблюдениями было установлено, что в эпицентре Гоби-Алтайского землетрясения вертикальные перемещения достигали 400 м, а протяженность главной трещины составила 250 км. В эпицентре землетрясения образовалась впадина протяженностью 18,0 км при ширине около 800 м, а влияние открытых трещин достигало 20 м.

- 1960 год. Рядовое пятибалльное (по шкале MSK-64) землетрясение с эпицентром в Северо-Чуйском хребте;

- 1962 год. Рядовое пятибалльное (по шкале MSK-64) землетрясение с эпицентром на плато Укок.

Эпицентры указанных землетрясений «доинструментального» периода располагались в необжитых горных районах, исключая землетрясение 1956 года с эпицентром в г. Горно-Алтайске, и не оставили после себя сколь-нибудь заметных сейсмодислокаций. Землетрясение 1956 года с эпицентром в г. Горно-Алтайске также не оказало сколь-нибудь заметного влияния на состояние зданий и геологической среды (возможно, этим землетрясением были приведены в подвижное состояние тела оползней в с. Майма и около с. Подгорного, хотя фактологические данные по этой возможности автору неизвестны. Не исключено, что землетрясение 1956 года вызвало появление термальных источников у подножия горы Тугай, достоверное существование которых было подтверждено только в 2003-2005 г.г.).

Периодичность проявления наиболее мощных (пятибалльных) землетрясений «доинструментального» периода колеблется от 123-х лет (1771-1894 г.г.) до 2-х лет (1960-1962 г.г.). В течение 20-ого века периодичность проявления наиболее мощных землетрясений была непостоянной: 4-10 лет (1904 г., 1913 г., 1923 г., 1927 г.) в первой трети века и практически отсутствовала в его середине. Несколько позднее, в период 1956-1962 г.г., произошло сразу три мощных пятибалльных землетрясения с периодичностью 2-4 года. Пространственно эпицентры землетрясений «доинструментального» периода располагались в южной половине территории Горного Алтая (административно принадлежащей ныне Республике Алтай), за исключением землетрясения 1956 г. с эпицентром в г. Горно-Алтайске, а также за исключением сейсмически инертного в этот период блока Катунских белков. В первом приближении можно, с долей условности, принять за факт пространственной приуроченности наиболее мощных землетрясений к южной половине Горного Алтая. Прямого геолого-тектонического объяснения данному факту нет, поскольку основные геотектонические структуры пересекают территорию Горного Алтая с северо-запада на юго-восток. Вероятно, причину пространственной приуроченности наиболее мощных землетрясений к южной части Горного Алтая следует искать в неоднородностях локальных аномалий поля силы тяжести. Вывести какую-либо закономерность в периодичности проявлений наиболее мощных землетрясений, произошедших за весь «доинструментальный» период или за прошедший 20-й век, по имеющимся материалам не представляется возможным.

Данные по палеосейсмичности Горного Алтая «геологического» периода показывают, что за последние 8 000 – 10 000 лет в четвертичное время (голоцен) на территории юго-восточного Горного Алтая сильные сейсмические события (землетрясения) произошли около 230 (Монгольское), 1 000, 2 500, 4 600 и 8 000 лет назад. Наиболее древнее (8 000 лет назад) сейсмическое событие фиксируется в виде двухметрового сейсмогенного уступа на северном склоне Центрально-Курайской гряды. Магнитуда этого землетрясения оценивается в 7,2-7,6. Землетрясение, произошедшее 4 600 лет назад, вызвало сейсмогенный обвал на южном склоне Центрально-Курайской гряды и изменение характера аллювиального сноса р. Курайка. Сейсмическое событие, возникшее 2 500 лет назад, проявилось в образовании сейсмодислокаций на протяжении около 80 км от села Чаган-Узун (в районе которого землетрясением был вызван грандиозный сукорский сейсмогенный обвал с образованием подпрудного озера в верхней части Чаган-Узунской теснины р. Чуя) до реки Чибитка, в долине которой встречными сейсмогенными обвалами было образовано подпрудное озеро Чейбек-Коль. Магнитуда этого землетрясения оценивается в 7,0-7,3. Более поздними (1 000 – 230 лет назад) землетрясениями была охвачена полоса, включающая северные борта западной части Чуйской и всей Курайской межгорных впадин до пос. Чибит включительно. Магнитуда этих землетрясений оценивается в 7,7-8,3. Вероятно, указанные сейсмические события способствовали спуску вод из ранее образованного сейсмогенно-подпрудного озера, располагавшегося выше устья реки Куяханар в долине реки Чуя. Все указанные землетрясения «геологического» (четвертичного) периода произошли в полосе северо-западного направления в интервале меридианов сел Акташа - Ортолыка, то есть, в тех же местах, что и более позднее Алтайское землетрясение 2003 г. Период повторяемости разрушительных землетрясений на юго-восточном Горном Алтае составил 1 000 - 3 000 лет.

Краткое резюме по сейсмической активности Горного Алтая, таким образом, можно свести к следующим пунктам.

1. Горный Алтай наряду с другими молодыми горными системами является сейсмически активным участком Земли и непрерывающиеся колебания грунтов здесь – правило, а не исключение.

2. За предшествующие 8 тыс. лет на территории Горного Алтая произошло пять (230, 1 000, 2 500, 4 600 и 8 000 лет назад) разрушительных землетрясений с магнитудой 7,3 - 8,3 и периодичностью 1 000 - 3 000 лет. Эпицентры всех разрушительных землетрясений «геологического» периода расположены в юго-восточном Горном Алтае и охватывают западную часть Чуйской межгорной впадины, а также всю Курайскую межгорную впадину до озера Чейбек-Коль на северо-западе, то есть, именно там, где позже произошло разрушительное Алтайское землетрясение сентября-октября 2003 года.

3. За последние 230 лет (с 1771 по 2003 годы) на Горном Алтае не случались разрушительные землетрясения с магнитудой более 6,0. Эпицентры наиболее мощных землетрясений, произошедших в период с 1771 до 2003 г.г., пространственно приурочены к южной половине Горного Алтая, исключая сейсмически инертный блок Катунских

белков.

4. За период инструментальных наблюдений 1963-1998 г.г. на Горном Алтае не было зафиксировано землетрясений с магнитудой более 2,0-2,5. Максимальная (свыше 250 – 300 землетрясений за 35 лет) плотность эпицентров землетрясений «инструментального» периода 1963-1998 г.г. зафиксирована на юго-восточном Горном Алтае в полосе сел Акташ - Бельтир, то есть, именно там, где позже произошло разрушительное Алтайское землетрясение сентября-октября 2003 года.

Общий вывод: разрушительные землетрясения Горного Алтая в геологически обозримый и современный периоды сосредоточены на юго-востоке Горного Алтая в районе сел Чибит - Акташ – Курай – Чаган-Узун – Ортолык – Бельтир, в связи с чем представляется корректным прогноз возможных будущих разрушительных землетрясений именно в районе указанных пунктов. Актуальным, в связи с вышеизложенным, является детальный анализ геолого-тектонических и геофизических обстановок именно этого района (в полосе меридианов сел Акташ – Кош-Агач) с определением геотектонической позиции сейсмически активизированных блоков для целей локального прогноза дальнейшего развития сейсмической ситуации.

ОСНОВЫ ДЕТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЗОНЫ ПРОЯВЛЕНИЯ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Исходные данные (реально наблюдаемые), на основе которых можно строить корректные выводы и прогнозы, представляются автору следующими.

1. Географические координаты, линейные размеры и ориентировка локальных трещин (сейсмодислокаций).
2. Географические координаты и линейные размеры изометричных сейсмогенных структур (воронки выброса и излияния воды и т.п.).
3. Географические координаты, глубина заложения и магнитуды локальных эпицентров частных сейсмических ударов.
4. Географические координаты, линейные размеры и ориентировка разломов, установленных прямыми геологическими наблюдениями.
5. Географические координаты пунктов резкого изменения температуры или химического состава поверхностных и грунтовых вод.
6. Характеристика геологических объектов (формации, разломы).

Характеристика геофизических полей над указанными (пункты 1-4) геологическими объектами.

В качестве исходного материала для анализа автором были использованы следующие карты: геологические 1:50 000 – 1:500 000 масштабов, карта локальных аномалий поля силы тяжести 1:500 000 масштаба, карта развития сейсмодислокаций в эпицентральной зоне Алтайского землетрясения 1:500 000 масштаба, карта сейсмичности Горного Алтая 1:5 000 000 масштаба и карта удельной сейсмической энергии (плотности сейсмической энергии) Алтайского землетрясения 1: 500000 масштаба. Первые три из них изданы в тех или иных вариантах в различные годы. Карта сейсмичности Горного Алтая составлена автором в 2000 году и используется ОАО «Алтай-Гео» для характеристики сейсмичности площадок инженерно-геологических изысканий. Карта удельной сейсмической энергии (плотности сейсмической энергии) составлена автором в марте 2005 г., поэтому ниже подробно изложена методика ее составления и интерпретации (анализа).

КАРТА УДЕЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Под картой удельной сейсмической энергии (плотности сейсмической энергии) (рис.3) Алтайского землетрясения понимается карта изомагнитуд, вычисленных аддитивным способом по сети квадратов со стороной 10 км (площадь квадрата - 100 км²). То есть, карта отражает энергию землетрясения, прошедшую через каждые 100 км² площади земной поверхности в период с 27.09. до 17.10.2003 г. (в период наибольшей сейсмической активности). За основу взята карта развития сейсмодислокаций в эпицентральной зоне Алтайского землетрясения (автор Достовалова М.С., составлена по полевым наблюдениям ТЦ «Алтайгеомониторинг», проведенным в октябре 2003 года сразу после первых наиболее сильных сейсмических ударов, а также включающая географические координаты и магнитуды эпицентров частных сейсмических ударов по данным Новосибирской сейсмостанции).

Методика составления карты удельной сейсмической энергии (плотности сейсмической энергии) Алтайского землетрясения:

- разбивка площади на равные квадраты площадью 100 км² (квадрат со сторонами 10 x 10 км);
- вычисление удельной сейсмической энергии (плотности сейсмической энергии) Алтайского землетрясения способом сложения (аддитивный способ) магнитуд частных эпицентров, произошедших за 20 дней (27.09. – 17.10.2003 г.) в каждом выделенном квадрате;
- построение карты удельной сейсмической энергии (плотности сейсмической энергии) Алтайского землетрясения (карты аддитивных изомагнитуд).

Дальнейшая оценка физической природы Алтайского землетрясения сводилась к следующим действиям:

- наложение карты удельной сейсмической энергии Алтайского землетрясения на геофизическую основу (карта локальных аномалий поля силы тяжести);
- наложение карты удельной сейсмической энергии Алтайского землетрясения на геологическую основу;

- выделение участков и зон растяжения и сжатия;
- выделение ареала изменения гидрологического режима поверхностных и подземных вод;
- геологическое истолкование: выделение геологических блоков, подвергшихся сейсмической активизации в ходе Алтайского землетрясения;
- вычисление суммарной и удельной сейсмической энергий (вычисление плотности и суммы сейсмической энергии) для отдельных геологических блоков, активизированных в ходе Алтайского землетрясения;
- истолкование физико-механической модели (кинематической схемы) Алтайского землетрясения;
- прогноз дальнейшего развития сейсмической зоны.

АНАЛИЗ КАРТЫ РАЗВИТИЯ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ В ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Изменения гидрологического режима (проявления самопроизвольного излияния воды – водяные грифоны, фонтанирующие источники с образованием конусов выноса, водно-грязевые озера в замкнутых западинах рельефа) проявлены на периферии области развития локальных эпицентров сейсмических ударов, приурочены к западной окраине Чуйской межгорной котловины (в том числе по долинам рек Чаган-Узун и Талдура) и к северной окраине Курайской межгорной котловины. В целом ареал распространения изменений гидрологического режима является северным и восточным продолжением ареала распространения эпицентров локальных сейсмических ударов.

Проявления первичных сейсмодислокаций (открытые трещины со следами излияния водно-грязевых масс и без таковых) пространственно развиты в тех же местах, что и изменения гидрологического режима. Кроме того, в пределах Чуйского наблюдательного участка Территориального центра «Алтайгеомониторинг» и в котловане строящегося здания Кош-Агачской районной больницы отмечены палеодислокации: открытые трещины, заполненные песчано-суглинистыми и грубообломочными грунтами. Ориентировка палеодислокаций отвечает ориентировкам сейсмогенных открытых трещин Алтайского землетрясения, что свидетельствует о неизменности географического положения эпицентров палеоземлетрясений, происходивших 1-8 тыс. лет назад, и эпицентров Алтайского землетрясения.

В ориентировке сейсмогенных открытых трещин (сейсмодислокаций) существует определенная закономерность: в с. Бельтир, юго-западнее него и в с. Мухор-Тархата ориентировка трещин меридиональная с добавлением (в с. Бельтир) восток – северо-восточной. В остальных пунктах (с.с. Курай, Чаган-Узун, Ортолык, Чуйский наблюдательный участок, междуречье р.р. Талдура-Кускуннур) ориентировка трещин северо-западная. В с. Кош-Агач – северо-западная, восток – северо-восточная и меридиональная. Такая пестрота ориентировок трещин должна иметь физическое объяснение. Автором возникновение трещин отрыва трактуется как результат прохождения продольных сейсмических волн (Р-волн), распространяющихся по радиусу от гипоцентра и вызывающих попеременное сжатие – растяжение твердой среды. Трещины отрыва этого генезиса должны в плане как бы облекать сейсмически активизированную область.

Полевыми наблюдениями октября 2003 г., проведенными сотрудниками ТЦ «Алтайгеомониторинг», установлено, что трещины отрыва (растяжения) как бы облекают блок сейсмически активизированного Северо-Чуйского хребта. При этом трещины северо-западной ориентировки проявлены: в полосе от с. Курай до с. Чаган-Узун как «облекающие», а восточнее – в полосе от с. Ортолык до с. Актал – как «региональные» с сохранением ориентировок разломов «курайской» и «чарышско-теректинской» систем. Вполне вероятно, что обилие трещин отрыва различной ориентировки в с. Кош-Агач связано с наложением «облекающих» (меридиональной ориентировки) и «региональных» – «Курайской» (северо-западной ориентировки) и «Чарышско-Теректинской» (восток – северо-восточной ориентировки). В с. Бельтир, расположенном в непосредственной близости от Чарышско-Теректинского разлома, кроме «облекающих» сейсмогенных трещин меридиональной ориентировки, развиты «региональные» сейсмогенные трещины «Чарышско-Теректинской» системы восток – северо-восточной ориентировки.

Не исключено, что в юго-западном борту сейсмоактивного Северо-Чуйского блока отсутствуют трещины отрыва (полевых наблюдений там не было). В этом случае следует предположить, что юго-западный борт Северо-Чуйского блока может надвигаться на Южно-Чуйский хребет с развитием здесь области сжатия. Либо мы имеем дело со сдвигом по предполагаемому меридиональному разлому, проходящему с юга на север от верховьев реки Карагем – через меридиональный отрезок сухой долины р. Чуя в районе одноименной не построенной ГЭС – вдоль меридиональной части долины р. Чибитка. В этом варианте кинематической схемы давление (сжатие) по линии «юг – север» осуществляется за счет сдвигания на север западной половины Южно-Чуйского хребта, а растяжение испытывает периферия неподвижной (инертной) восточной части Северо-Чуйского хребта. Наблюдаемые ориентировки сейсмодислокаций могут быть объяснены и вертикальными перемещениями Северо-Чуйского массива. Не исключено, что наблюдаемые сейсмодислокации наиболее четко выражены на участках с мощным чехлом рыхлых отложений (поэтому они не фиксируются в скальном массиве Северо-Чуйского хребта), дисперсная природа грунтов в которых более чутко реагирует на деформации.

Излияния водно-грязевых масс из трещин и выбросы водно-грунтовых масс из воронок (грифонов) наблюдались в пределах всего ареала распространения сейсмодислокаций. С какими сейсмическими волнами были связаны водно-грунтовые выбросы? С чередованием горизонтального сжатия-растяжения при прохождении продольных волн (Р-волн) или со сдвигом при прохождении поперечных волн (s-волн)? Прямого объяснения этим явлениям нет.

Вероятно, растягивающие горизонтальные усилия, обусловленные прохождением Р-волн, приводили к формированию открытых трещин, а в точках пересечения линий Р-волн и s-волн формировались открытые воронки (грифоны). Наблюдавшиеся выбросы водных и водно-грунтовых масс из сейсмодислокаций (трещин и грифонов) осуществлялись в условиях последующей фазы горизонтального сжатия. Следует отметить, что следов сейсмодислокаций, связанных с прохождением поверхностных волн (L-волн), а также волн Рэлея и Лява, полевыми наблюдениями не отмечено. Здесь возможно как минимум два объяснения: полное отсутствие сейсмодислокаций данного генезиса либо невозможность (по различным причинам) выделения сейсмодислокаций данного генезиса в интегральном поле сейсмодислокаций.

АНАЛИЗ КАРТЫ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Сейсмотектонической активизации подвергся горный массив Северо-Чуйского хребта от меридиана с. Чибит на западе до меридиана с. Чаган-Узун на востоке. Эпицентры локальных сейсмических ударов, на первый взгляд, образуют полосу северо-западной ориентировки, приуроченную к северному склону Северо-Чуйского хребта. Ширина полосы 8-10 км, протяженность 65-70 км. Отношение длины и ширины - 8,75.

Северо-западная часть Северо-Чуйского массива выделяется автором под названием Можойский (Маашейский) блок. Здесь отмечено 12-15 сближенных эпицентров локальных сейсмических ударов, расположенных беспорядочно в полосе северо-западной ориентировки протяженностью 20-25 км и шириной 10-13 км. Магнитуды локальных сейсмических ударов от 3,0 до более 6,0. Локальные сейсмические удары с максимальной амплитудой удалены от Северо-Чуйского разлома на 6-10 км к юго-западу и приурочены к юго-западной границе образований живетского возраста.

Юго-восточная часть Северо-Чуйского массива выделяется автором под названием Актуринский блок. Здесь отмечается 7 сближенных эпицентров локальных сейсмических ударов, расположенных хаотично в полосе северо-западной ориентировки протяженностью 20-25 км и шириной 8-10 км. Магнитуды локальных сейсмических ударов от менее 3,0 до более 6,0. Локальные сейсмические удары с максимальной амплитудой удалены от Северо-Чуйского разлома на 6-10 км к юго-западу и приурочены к юго-западной границе образований живетского возраста. Указанные сейсмоактивизированные блоки разделены сейсмически инертной долиной р. Ак-Тура.

В полосе от с. Бельтир до р. Можой (Маашей) сейсмической активизации подверглись образования девонского возраста. При этом сейсмоактивизирована полоса пород девонского возраста шириной 7-8 км, примыкающая с юго-запада к их тектонической границе (Северо-Чуйскому разлому) с докембрийскими образованиями фундамента Курайской межгорной впадины. Судя по Госгеолкарте-50, в пределах сейсмоактивизированной полосы девонских образований развиты породы существенно карбонатно-терригенного состава (живетский ярус) в противовес породам существенно вулканогенного состава (эйфельский ярус), развитым в пределах сейсмически инертной части Северо-Чуйского сейсмически активизированного массива. Более того, полоса сейсмически активизированных карбонатно-терригенных пород живетского яруса, судя по геолкартам-50, не являет собой единое целое, а разделена по сейсмически инертной долине р. Ак-Тура выступом вулканитов эйфельского яруса на два блока, отвечающим площадям Можойского и Актуринского сейсмоактивизированных блоков.

На периферии активизированного горного Северо-Чуйского массива отмечаются единичные эпицентры локальных сейсмических ударов.

Таким образом, можно считать достоверным факт сейсмической активизации Можойского и Актуринского блоков карбонатно-терригенных образований живетского яруса в пределах Северо-Чуйского массива. Суммарная энергия, проявленная в этой части Алтайского землетрясения за 20 дней, составляет 47,0 (Можойский блок) + 21,0 (Актуринский блок) = 68,0 условных единиц, что отвечает удельной энергии 9,7 (средняя удельная магнитуда = 9,7) условных единиц на 100 км² или 11,8 и 7,0 условных единиц соответственно для Можойского и Актуринского блоков (средняя удельная магнитуда 11,8 и 7,0) на 100 км² соответственно.

Несомненно параллельная активизация отрезка Чарышско-Теректинского разлома, проходящего по долине р. Карагем и переходящего через Карагемский перевал в долину р. Чаган-Узун (Карагемский участок разлома) на протяжении свыше 60 км. Здесь отмечено 6 эпицентров локальных сейсмических ударов, как бы «нанизанных» на Чарышско-Теректинский разлом. Обычные магнитуды каждого эпицентра менее 3,0. Максимальные (до 6,0 и более 6,0) магнитуды локальных землетрясений здесь приурочены к меридиональным тектоническим элементам, пересекающим Чарышско-Теректинский разлом: один эпицентр – в верховье р. Карагем – магнитудой до 6,0. Другие два сближенных эпицентра локальных сейсмических ударов с магнитудой более 6,0 расположены восточнее в среднем течении р. Чаган-Узун, где эти эпицентры образуют меридионально ориентированную цепочку, как бы трассирующую еще один разлом меридиональной ориентировки, пересекающий зону Чарышско-Теректинского разлома. Пространственно эпицентры локальных сейсмических ударов приурочены к полю развития карбонатно-терригенных пород ташантинской свиты (живетский ярус). Суммарная энергия, проявленная в этой части Алтайского землетрясения за 20 дней, составляет 26,0 условных единиц, что отвечает плотности сейсмической энергии 4,3 условных единиц на 100 км².

Курайско-Сарасинская зона разломов в сейсмическом отношении оказалась инертна - единичные эпицентры в этой зоне не в счет. Инертным в сейсмическом отношении оказался и небольшой горный массив Белькенек, примыкающий с юго-запада к п. Акташ.

Особняком выделяется Акташский сейсмоактивизированный блок, пространственно приуроченный к полю развития метаморфизованных образований раннепалеозойского – докембрийского возраста. Не исключено, что сейсмическая активность Акташского блока связана с установленным активным Чибитским разломом [1]. Не исключено также, что сейсмическая активность Акташского блока связана с активным разломом околомеридиональной ориентировки, выраженным в современных орографических и троговых формах рельефа на протяжении около 80-100 км от долины р. Карагем до меридионального отрезка долины р. Чибитка. Суммарная энергия, проявленная в пределах Акташского блока за 20 дней, составляет 17,0 условных единиц, что отвечает плотности сейсмической энергии 5,7 условных единиц на 100 км².

В геофизическом аспекте сейсмически активная зона Алтайского землетрясения расположена в поле слабо-контрастных локальных аномалий отрицательного знака поля силы тяжести. При этом блок земной коры с отрицательными локальными аномалиями поля силы тяжести как бы «вдаётся» клином на север – северо-запад, разделяя блоки (Телецко-Чулышманский блок – с северо-востока, Ануйский блок – с юго-запада) земной коры с положительными значениями локальных аномалий поля силы тяжести.

Поле силы тяжести в пределах сейсмоактивизированного Северо-Чуйского массива характеризуется слабой неоднородностью внутреннего строения. При этом Актуринскому сейсмоактивизированному блоку отвечает локальная аномалия с незначительным – до (-8) усл. ед. на фоне (-14-18) усл. ед. – повышением значений поля силы тяжести. Можойскому сейсмоактивизированному блоку отвечает локальная аномалия с незначительным – до (-22,0-24,0) усл. ед. на фоне (-14-18) усл. ед. – понижением значений поля силы тяжести. Сгущение эпицентров локальных сейсмических ударов пространственно приурочено к указанным локальным аномалиям поля силы тяжести с максимальными или же минимальными абсолютными величинами локальных аномалий.

Поверхность Мохоровичича в пределах Горного Алтая образует моноклираль, равномерно погружающуюся с северо-запада на юго-восток. При этом глубина залегания поверхности Мохоровичича изменяется от 46-48 км на северо-западе Горного Алтая до более 52 км на юго-востоке (в районе Калгутинского месторождения). Вероятно, это погружение поверхности Мохоровичича отражает увеличение мощности так называемого «гранитного» слоя земной коры (по Зюссу – «корни гор»). Гипоцентры Алтайского землетрясения, глубина которых определена в 25 – 35 км., располагаются, таким образом, выше поверхности Мохоровичича в нижней части земной коры и достигают подошвы так называемого «гранитного» ее слоя.

Суммарная и удельная сейсмическая энергия (плотность сейсмической энергии) Алтайского землетрясения

1. Суммарная и удельная сейсмическая энергии Алтайского землетрясения

Объект	Площадь объекта, км ²	Магнитуда объекта на 100 км ²		Энергия объекта, Дж.	
		Удельная	суммарная	удельная	суммарная
Чарышско-Теректинский разлом	600	4,3	26,0		
Актуринский блок	300	7,0	21,0		
Можойский блок	400	11,8	47,0		
Акташский блок	300	5,7	17,0		
Всего	1 600	7,2	111,0	10 ¹⁶	1,152 ¹⁸

приведена в таблице 1. Для простоты расчетов магнитуде 7,2 придано значение удельной энергии равное 10¹⁶Дж.

ТЕКТОНИКА АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И АМПЛИТУДЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЛОКОВ

Природа преобразований Земли и окружающего мира не поддается однозначной трактовке, которая – в приказном порядке – требуется всевозможными ГОСТами, СниПами и им подобными документами, обязательными для исполнения, поэтому и существуют различные, порой взаимоисключающие друг друга, гипотезы и теории. Любой анализ кинематики конкретного объекта невозможен без приложения общетеоретических постулатов и построений к конкретным особенностям строения и истории развития объекта исследования. С общетеоретических позиций один и тот же конечный результат (Алтайское или же любое землетрясение в любой точке Земного шара, в частности) может быть с одинаковой степенью вероятности объяснен как теорией горизонтального перемещения литосферных плит (мобилизм), так и теорией радиальных изостаических перемещений (фиксизм). Фактический материал полевых наблюдений (а иных фактов просто нет) по ориентировке и морфологии трещин, по географическим координатам эпицентров локальных сейсмических ударов, по водным и водно-грунтовым выбросам (грифонам) не может служить прямым обоснованием кинематики Алтайского землетрясения. Ниже изложена авторская попытка приложения вышеуказанных теоретических позиций к конкретным геотектоническим условиям, истории геотектонического развития и фактическому материалу Алтайского землетрясения.

Предварительно следует отметить, что наиболее крупная в районе долгоживущая тектоническая структура – Курайская ртутная зона – не была сейсмически активизирована. Следует также отметить, что «наиболее истинные

суждения» В.А. Говердовского об изостатическом механизме, как единственно возможном механизме Алтайского землетрясения [2] построены, образно говоря, «на пустом месте», без привязки к конкретным геотектоническим условиям Горного Алтая и поэтому представляются некорректными.

В результате каких динамических воздействий могла возникнуть сейсмическая активизация в этой части юго-восточного Горного Алтая? Пространственная приуроченность Алтайского разрушительного землетрясения к участку с систематически повторяющимися разрушительными землетрясениями является одним из важнейших свидетельств продолжающегося геологического развития (унаследованности развития) существующих геоструктур Горного Алтая, а не отражением какого-либо нового (уникального) геологического процесса. Трудно представить, что постоянное поднятие Северо-Чуйского хребта, наблюдавшееся в течение всего четвертичного периода (или, наоборот, «проваливание» Чуйской и Курайской межгорных впадин), одномоментно может смениться опусканием (или поднятием межгорных впадин), вызвав Алтайское землетрясение. Таким образом, следует полагать корректным утверждение, что Алтайское землетрясение вызвано продолжающимся поднятием горных хребтов (Северо-Чуйского, в частности) и опусканием межгорных впадин – новейших сейсмически активных структур Горного Алтая.

Общие соображения по геотектонической обстановке (рис. 4) сводятся к следующим пунктам.

1. В региональном геотектоническом плане: неоднородности в характере локальных аномалий поля силы тяжести могут быть истолкованы как результат широтно-поясного строения земной коры Горного Алтая, при котором северная часть Горного Алтая характеризуется «тяжелой» и «сверхтяжелой» земной корой «базальтового» типа, для средней части Горного Алтая полагается «утяжеленная» земная кора «диоритового» типа, а для юго-восточной части – наибольшая мощность «легкой» земной коры «гранитного» типа. Не исключено, что наиболее высокая сейсмическая активность южной половины Горного Алтая связана с вышеуказанной закономерностью в строении земной коры и приурочена к площади развития максимальной мощности земной коры «гранитного» типа. При этом разрушительные (с магнитудой более 6,0) землетрясения пространственно располагаются в области с максимальной, свыше 51-52 км, мощностью земной коры.

2. В локальном геотектоническом плане: пространственно Алтайское землетрясение приурочено к Северо-Чуйскому массиву, имеющему в плане форму «треугольника»: блоку девонских образований вулканогенного и карбонатно-терригенного составов, ограниченному с юга Чарышко-Теректинским глубинным разломом (основание треугольника), с северо-востока – Северо-Чуйским разломом, с северо-запада – системой Бельгебашских разломов. Горизонтальная протяженность каждого из разломов превышает 60 км. Вертикальная протяженность каждого из разломов, оцениваемая в половину их горизонтальной протяженности, превышает 30 км и сопоставима с установленной глубиной залегания гипоцентров Алтайского землетрясения в 25-35 км. Вероятно, основания разломов, ограничивающих Северо-Чуйский «треугольник», достигают подошвы «гранитного» слоя земной коры.

В геотектоническом смысле выделенный Северо-Чуйский «треугольник» разделяет крупные блоки земной коры с положительными значениями локальных аномалий поля силы тяжести: Телецко-Чулышманский (с северо-востока) и Ануйский (с запада). Узкая полоса отрицательных аномалий поля силы тяжести, трассирующая продолжение вершины Северо-Чуйского «треугольника», распространяется на север-северо-запад почти до широты г. Горно-Алтайска, разделяя «утяжеленные» блоки земной коры «диоритового» типа. Эта разделяющая структура известна под названием «Уйменский прогиб» или «южная часть Уймено-Лебедского прогиба».

Средняя плотность сейсмоактивизированного Северо-Чуйского блока-«треугольника» составляет 2,65 г/см³, средние плотности Ануйского и Телецко-Чулышманского блоков составляют 2,76 и 2,78 г/см³ соответственно. Не исключено, что корневые части граничных разломов сейсмоактивизированного Северо-Чуйского блока (а также смежных блоков земной коры - Ануского и Телецко-Чулышманского) достигают поверхности Мохоровичича, то есть, основания вертикали земной коры, залегающей в этой части Горного Алтая на глубинах свыше 48-50 км.

3. В локальном геотектоническом плане: сейсмической активизации были подвергнуты внутренние полосы «треугольника», приуроченные к основанию (отрезок Чарышко-Теректинского глубинного разлома от приустьевой части р. Карагема до района с. Бельтир в среднем течении р. Чаган-Узун) и правой стороне (Северо-Чуйский разлом) «треугольника», сложенные образованиями карбонатно-терригенного состава живетского яруса. Последние разделены на два сейсмоактивизированных блока – Можойский и Актуринский – сейсмически инертной долиной р. Ак-Туры, сложенной вулканитами эйфельского яруса. Данный факт может быть объяснен большей тектонической «податливостью» (проницаемостью, ослабленностью) переслаивания пород с различными физико-механическими свойствами по сравнению с монолитными вулканитами, образующими единый блок весьма прочных горных пород с одинаковыми физико-механическими свойствами. Последнее может являться доводом в пользу корового характера сейсмических ударов Алтайского землетрясения.

История развития Северо-Чуйского «треугольника» в последние 300 млн. лет связана с формированием вулканических и карбонатно-терригенных впадин на всей территории Горного Алтая. При этом Северо-Чуйский массив-«треугольник» являлся южным окончанием Уймено-Лебедского прогиба, окаймляющего с запада выступ докембрийских метаморфитов Телецко-Чулышманского блока. Уже в среднедевонское время произошло разделение Северо-Чуйского «треугольника» на блоки вулканического состава и блоки карбонатно-терригенного состава (Можойский и Актуринский) с приуроченностью карбонатно-терригенных пород к глубинным разломам (Чарышко-Теректинскому, Северо-Чуйскому, Бельгебашским), ограничивающим «треугольник». В ходе герцинской складчатости пластичные водонасыщенные слои карбонатно-терригенных пород были «поставлены на голову» и, вероятно, «затянуты» в глубины земной коры вдоль поверхностей глубинных разломов. Таким образом, не позднее верхнего

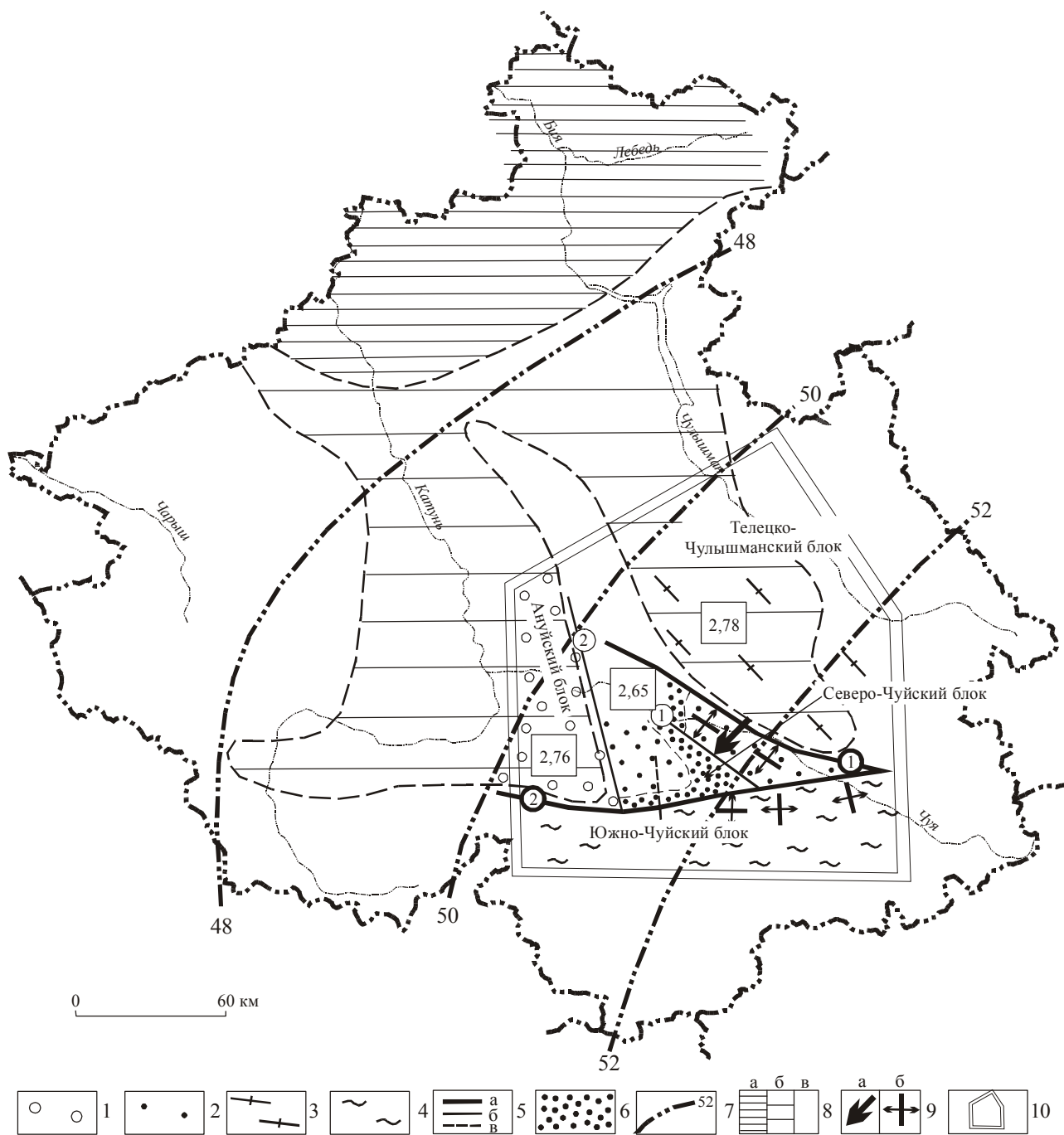


Рис. 4. Геотектоническая схема Алтайского землетрясения.

1-4 - блоки земной коры: 1 - Ануйский, 2 - Северо-Чуйский, 3 - Телецко-Чулышманский, 4 - Южно-Чуйский (цифры в квадратах - средняя плотность в г/см³); 5 - разломы: а - главные (1 - Курайско-Сарасинский, 2 - Чарышко-Теректинский), б - второстепенные (1 - Северо-Чуйский, 2 - Бельгебашский), в - Чибитский активный разлом; 6 - сейсмоактивная область Алтайского землетрясения; 7 - изоглубины поверхности Мохоровичича, км; 8 - преобладающий состав земной коры: а - базальтовый, б - диоритовый, в - гранитный; 9 - направления: а - сжатия, б - растяжения; 10 - эпицентральная область Алтайского землетрясения.

палеозоя Северо-Чуйский массив обрел заверченный геотектонический облик. Эпоха мезозойской пенепленизации не оставила заметных следов в геологическом строении Северо-Чуйского «треугольника», исключая слабые проявления карбонатитовых и щелочных интрузий.

В кайнозой глобальные процессы, происходящие на Земле, привели к образованию протяженной горной системы Алтае-Саян. Тектоническая активность в пределах этой системы продолжалась вдоль разломов, ограничивающих межгорные впадины и озера (Байкал, Хубсугул), и сопровождалась вулканической деятельностью с образованием небольших вулканов центрального типа и излияниями лав оливиновых базальтов в межгорных впадинах на отрезке от Западного Забайкалья до Хангая. На Горном Алтае кайнозойская история проявилась (на фоне общего поднятия горной системы) в виде формирования ориентированных по широте цепочек межгорных тектонических

впадин (Абайская, Уймонская, Курайская, Чуйская) в южной – юго-восточной его частях. Именно для последних типичны наибольшие в Горном Алтае относительные превышения вершин гор над днищами долин, достигающие 2 500 – 2 800 м. Следует отметить, что максимальные для Горного Алтая абсолютные отметки вершин гор (свыше 4 000 м) характерны для вершин Северо-Чуйского хребта, что свидетельствует об его продолжающемся поднятии в современную эпоху.

Механизм формирования Алтае-Саянской горной системы в кайнозой трактуется мобилистами как результат давления Индостанской плиты с юга на Азиатский континент. При этом межгорные тектонические впадины являются итогом «заталкивания» при надвигании с севера (или, что равновероятно, при поддвигании с юга) по линии сутуры, роль которой отводится Курайско-Сарасинской зоне глубинного разлома. Фиксисты трактуют горообразование Алтае-Саян как результат аркогенеза, а формирование тектонических межгорных впадин объясняют проседанием (обрушением) «арки» в результате растяжения поперек оси ее поднятия. В этом варианте Курайско-Сарасинская зона разлома является поверхностью, вдоль которой Телецко-Чулышманский блок «наваливается» (надвигается) на провал – обрушенную часть «арки» - Курайской степи. Учитывая широкое развитие пологих надвигов (шарьяжей) и максимальную глубину залегания поверхности Мохоровичича в юго-восточном Горном Алтае, предпочтение, по мнению автора, следует отдать горизонтальным перемещениям (теория мобилизма).

Оценка изостатической (в том числе – «ледниковой») теории вертикальных перемещений в приложении к кинематике Алтайского землетрясения необходима хотя бы потому, что она позволяет рассчитать силу, а, следовательно, и энергию, необходимую для вертикального перемещения «треугольника». При изостатическом «всплывании» более легкого Северо-Чуйского массива - «треугольника» сейсмической активизации должны в равной степени быть подвержены все основные разломы, ограничивающие Северо-Чуйский массив, чего не наблюдается в действительности.

Допустим, что Алтайское землетрясение могло быть вызвано «всплыванием» более легкого Северо-Чуйского треугольника в условиях растяжения (сжатый с трех сторон и «вдавливаемый» вниз силой сжатия «треугольник» не может «всплыть»). Оценка силы изостатического давления снизу вверх может быть выполнена на основе всем известного закона Архимеда. Определив энергию, необходимую для подъема (или погружения) Северо-Чуйского «треугольника», можно сопоставить эту энергию с реально выделившейся сейсмической энергией и оценить вертикальную амплитуду поднятия (или погружения) Северо-Чуйского «треугольника».

Оценка теории горизонтальных перемещений в приложении к кинематике Алтайского землетрясения, представляется необходимой, поскольку землетрясение произошло в пределах территории юго-восточного Горного Алтая, характеризующейся широким проявлением надвиговых тектонических структур в течение значительного геологического времени. В частности, это Акташский надвиг, прослеживающийся на 50-60 км и по плоскости которого с севера на юг более древние (кембрийские) породы надвинуты на более молодые (девонские) породы. В частности, это олистострома Курайской степи, «являвшаяся постелью, на которой происходило шарьирование» (по образному выражению Н.И. Гусева [3]). В частности, это Чибитская зона меланжа, в составе которой автор в 2000 году наблюдал 4 – 5 крутых взбросов и более пологих (до горизонтальных шарьяжей) надвигов.

В «мобилистском» понимании Алтайское землетрясение может являться проявлением сжатия, возникающего вследствие надвигания с юга на север геологических блоков по линии сутуры, под которой обычно понимается курайский отрезок зоны Курайско-Сарасинского разлома. Усложненный вариант: сжатие, возникающее вследствие надвигания по террейну или коллажу террейнов, под которыми понимается блок геоструктур, примыкающий к Курайско-Сарасинской зоне разломов с юга. В этом варианте Северо-Чуйский «треугольник» является результатом «выдавливания» в ходе активного сжатия по линии «юг – север», вызванного, например, движением Холзуно-Чуйского блока на север или, что равновероятно, надвиганием Телецко-Чулышманского блока на Курайскую и Чуйскую межгорные впадины. Но Курайско-Сарасинская зона разлома, как показывает анализ расположения эпицентров локальных сейсмических ударов, не была сейсмически активизирована, что ставит под сомнение гипотезу простого сжатия по линии «юг – север» (вследствие давления индостанской плиты на азиатский континент, полагающийся недвижимым).

В то же время в пределах коллажа террейнов Курайской зоны отмечены узкие линейные впадины, заполненные терригенными отложениями каменноугольно-пермского и юрского возрастов. Возникновение таких впадин могло быть обусловлено локальным растяжением, ориентированным поперек Курайско-Сарасинской зоны разломов. Вероятно, подобное локальное растяжение могло явиться причиной изостатического «всплывания» более легкого Северо-Чуйского «треугольника», вызвавшего Алтайское землетрясение.

Таким образом, «всплывание» более легкого Северо-Чуйского «треугольника» может быть осуществлено за счет механизма изостазии в области локального растяжения на линии сутуры или в калейдоскопе элементов коллажа террейнов геодинамического режима. В связи с последним, представляется теоретически оправданным расчет энергии изостатического «всплывания» или «погружения» Северо-Чуйского «треугольника».

Величина вертикального перемещения («всплывания») Северо-Чуйского «треугольника» определится из соотношения суммарной сейсмической энергии, выделившейся в ходе Алтайского землетрясения и суммарной энергии, необходимой для перемещения Северо-Чуйского блока на 1,0 м по вертикали. Средняя удельная сейсмическая энергия (плотность сейсмической энергии) Алтайского землетрясения составляет 10^{16} Дж., суммарная – $1,152^{18}$ Дж. Определив энергию, необходимую для подъема (или погружения) Северо-Чуйского «треугольника», можно сопоставить эту энергию с реально выделившейся сейсмической энергией и оценить вертикальную амплитуду поднятия

(или погружения) Северо-Чуйского «треугольника».

Исходные данные для расчета подъемной силы, действующей на Северо-Чуйский «треугольник» по закону Архимеда: площадь сейсмически активизированной части «треугольника» - 2 800 кв. км (для простоты расчетов принимается равносторонний треугольник с длиной сторон, равной 80 км и высотой, равной 70 км), вертикальная протяженность Северо-Чуйского «треугольника» – 30 км (по глубине залегания гипоцентров частных сейсмических ударов). Плотности блоков составляют: Ануйский – 2,76 г/см³, Телецко-Чулышманский – 2,78 г/см³ (средняя плотность «выталкивающих» блоков - 2770 кг/м³), Северо-Чуйский – 2,64-2,66 г/см³ (средняя плотность «всплывающего» блока – 2650 кг/м³).

Расчетные данные:

- объем Северо-Чуйского блока: $(28 \times 10^8) \text{ м}^2 \times (30 \times 10^3) \text{ м} = 84 \times 10^{12} \text{ м}^3$,

- сила, необходимая для перемещения Северо-Чуйского блока на 1,0 м по вертикали: $84 \times 10^{12} \text{ м}^3 \times 2770 \text{ кг/м}^3 = 232\,680 \times 10^{12} \text{ кгс}$,

- энергия, необходимая для перемещения Северо-Чуйского блока на 1,0 м по вертикали: $(232\,680 \times 10^{12}) \times 9,8 = 2,280 \times 10^{18} \text{ Дж}$.

Величина суммарной сейсмической энергии, выделившейся в ходе Алтайского землетрясения ($1,152 \times 10^{18} \text{ Дж}$) меньше вычисленной энергии, необходимой для перемещения блока на 1,0 м ($2,280 \times 10^{18} \text{ Дж}$) в 1,979 раз, что отвечает величине среднего перемещения Северо-Чуйского блока в ходе Алтайского землетрясения в 0,505 м ($1,152:2,280 = 0,505$). При этом неравномерность перемещений различных участков Северо-Чуйского «треугольника» изменяется от 0,261- 0,302 м для западной части Чарышско-Теректинского разлома до 0,88-1,74 м для Можойского и Актуринского сейсмоактивизированных блоков.

Полученные цифры вертикальных перемещений Северо-Чуйского «треугольника» хорошо совпадают с цифрами вертикальных палеосейсмических перемещений, наблюдавшимися сотрудниками Института физики Земли [1]: голоценовых чешуйчатых взбросов с амплитудой частных перемещений 10-15 см и амплитудой «чешуи» в 15-35 см в пределах Центрально-Курайской гряды, а также палеосейсмогенных уступов в районе с. Чаган-Узун с вертикальной амплитудой 1,8-2,0 м. Современные (новейшие) сейсмогенные сбросы с вертикальной амплитудой от 0,5-0,6 м до 1,2-1,5 м автор наблюдал в 1979 году на различных участках Хангайского разлома в Западной Монголии.

7. КИНЕМАТИКА АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В плане Алтае-Саянская горная система - от озера Зайсан в долине реки Иртыш до меридиана озера Байкал - представляет собой (рис. 5) выпуклую к северу дугу, образованную в относительно недавние (третичное-четвертичное время) геологические эпохи и продолжающую развиваться в качестве горной системы в настоящее время. С точки зрения теории мобилизма первопричиной формирования Алтае-Саянской горной системы является активное давление с юга индостанской плиты на азиатский континент. Воздымание (поднятие) гор при этом обусловлено приподниманием южного края азиатского континента поддвигающейся под него индостанской плитой. Образование тектонических межгорных впадин является результатом «проседания» отдельных частей тонкой пластины края азиатского континента. Следует отметить, что свидетельства об активном давлении по линии «север-юг» фрагментарно отмечаются в геологической истории Горного Алтая, начиная с девонского времени (330-350 млн. лет назад).

С точки зрения «фиксизма» первопричиной формирования Алтае-Саянской горной системы является «аркогенез» - горообразование на окраинах древних платформ и складчатых систем. Воздымание (поднятие) гор при этом обусловлено «вспуханием» разуплотненной «гранитной» земной коры за счет расширения объема горных пород при разуплотнении. Образование тектонических межгорных впадин является результатом «проседания» отдельных присводовых частей «арки» (свода горной системы). Типоморфным признаком кинематики Алтайского землетрясения, как продукта «аркогенеза», по мнению автора, следует считать совпадение ориентировок осей «аркогенеза» (горной системы) и осей присводовых обрушений-проседаний (межгорных впадин).

В орографическом строении горной системы Алтае-Саян можно отметить ряд геологических структур новейшего (третичного-четвертичного) геологического возраста, являющихся своеобразными индикаторами сошедших их геотектонических процессов:

- сейсмически инертные трещины растяжения (отрыва) меридионального простирания. Наиболее крупные из них представлены озерами Телецким и Хубсугул. Границами этих озер являются геотектонические структуры горизонтального растяжения: сбросы и раздвиги.

- сейсмически активные трещины сжатия широтного простирания. Наиболее крупные из них представлены межгорными впадинами: Чуйской, Курайской, Уймонской, Абайской. Границами межгорных впадин широтной ориентировки являются геотектонические структуры горизонтального сжатия (обычно это северные границы межгорных впадин): надвиги, сдвиги, шарьяжи (олиостромы).

- протяженные меридиональные отрезки долин рек являются скорее исключением, нежели правилом. Обычно такие отрезки, за весьма небольшим исключением, характеризуются зигзагообразными планами речных долин. Границы протяженных меридиональных отрезков долин рек нетектонические. Единичные тектонические границы таких долин рек являются геотектоническими структурами горизонтального растяжения - сбросами, раздвигами.

- широко развиты протяженные отрезки речных долин околожиротной ориентировки: р.р. Чуя, Чарыш, Кокса (с участком р. Катунь между с.с. Талда и Тюнгур), Джазатор. Чаще всего границами протяженных речных долин

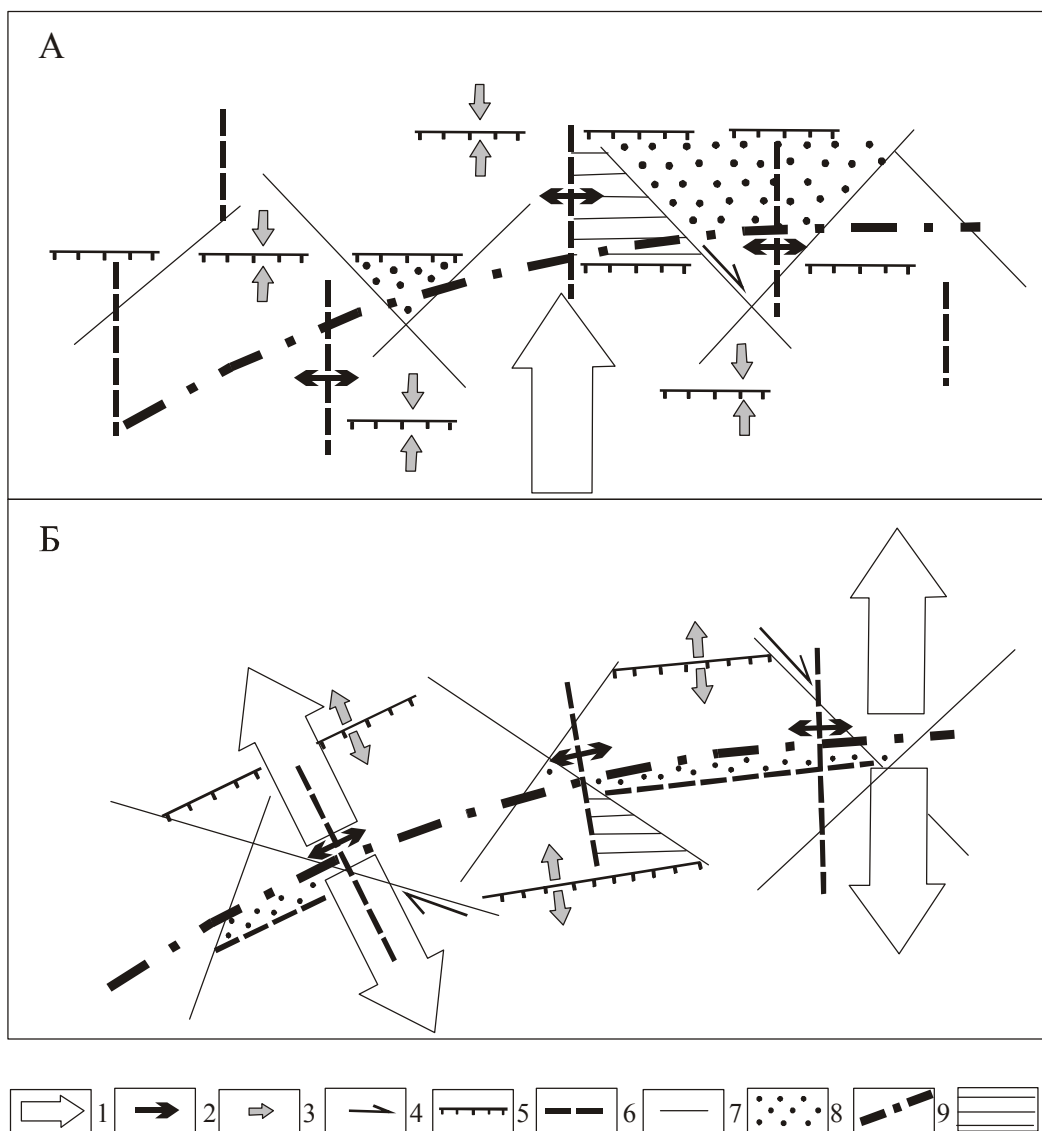


Рис. 5. Кинематические схемы Алтайского землетрясения.

А - «мобилистский» вариант, Б - «фиксистский» вариант. 1 - направление первичного сжатия (вариант А) и растяжения (Б); 2-4 - вторичные направления: 2 - поперечного растяжения, 3 - продольного сжатия (А) и растяжения (Б), 4 - диагонального скола; 5-7 - вторичные геотектонические структуры: 5 - поперечного сжатия (надвиги) (А) и растяжения (сбросы, раздвиги) (Б), 6 - продольного растяжения (сбросы, раздвиги), 7 - диагонального скола (сдвиги и их комбинации со сбросами и надвигами); 8 - вторичные структуры поперечного сжатия (коллаж террейнов) (А) и продольного растяжения (обрушение кровли свода) (Б); 9 - ось свода Алтае-Саянской горной системы; 10 - Северо-Чуйский «треугольник».

широтной ориентировки являются геотектонические структуры горизонтального сжатия: надвиги, сдвиги, шарьяжи (олистостромы).

Не следует полагать, что новейшие геотектонические структуры существуют «сами по себе». Наоборот, в случае совпадения ориентировок древних незалеченных и новейших тектонических структур последние развиваются по более древним геотектоническим элементам, подновляя последние.

На рис.5 приведены идеализированные кинематические схемы, показывающие пространственное положение, тип и ориентировку сил сжатия и растяжения в «мобилистском» и «фиксистском» вариантах возникновения Алтае-Саянской горной системы. Здесь же показано предполагаемое положение Северо-Чуйского «треугольника». Сравнительные характеристики типоморфных признаков кинематических объектов обоих вариантов приведены в таблице 2. Краткие дополнительные комментарии к таблице и рисунку 5:

В «мобилистском» варианте основные события разыгрываются в полосе, примыкающей к сутурной линии или коллажу террейнов, на фоне поперечного сжатия (поддвигания или надвигания) с постоянством пространственных ориентировок возникших тектонических структур. Ориентировки длинных осей горной системы и поперечных тектонических структур сжатия (поддвиги, надвиги, олистостромы) независимы друг от друга (совпадают на некоторых участках и не совпадают на других участках длинной оси горной системы).

В противоположность этому, в «фиксистском» варианте основные события разыгрываются в полосе, примыкающей к присводовой части «арки» (свода горной системы) на фоне поперечного растяжения (обрушения части свода «арки») с непостоянной пространственной ориентировкой возникших тектонических структур. Ориентировки

2. Кинематические объекты и их признаки

Кинематические объекты	Типоморфные признаки	
	«мобилистский» вариант	«фиксистский» вариант
Пространственная приуроченность кинематических объектов	Линия «сутуры» или коллажа террейнов с затуханием в обе стороны от нее	Присводовая часть горной системы («арки») с затуханием на ее краях
Ориентировка продольных трещин отрыва	Постоянная, ориентированная параллельно оси сжатия	Веерообразная, ориентированная поперек длинной оси горной системы («арки»)
Ориентировка поперечных трещин отрыва	Отсутствуют	Дугообразная: параллельная изгибу длинной оси горной системы («арки»)
Ориентировка поперечных трещин сжатия	Постоянная, ориентированная поперек оси сжатия	Отсутствуют
Ориентировка диагональных трещин скола	Постоянная, ориентированная диагонально к оси сжатия	Веерообразная, ориентированная по диагоналям к длинной оси горной системы

длинных осей свода горной системы и «обрушений» частей свода зависят друг от друга и совпадают на всем протяжении горной системы.

В геотектоническом строении района Алтайского землетрясения преобладающее развитие имеют надвиги, шарьяжи, сдвиги, исключая бельгешашскую шовную грабен-синклиналь, в пределах которой более развиты сбросовые тектонические движения. Не наблюдается и «веерообразности» в ориентировке разрывных структур. Все это, по мнению автора, указывает на большую корректность применения «мобилистского» варианта для обоснования кинематической схемы Алтайского землетрясения.

8. ПРОГНОЗ ДАЛЬНЕЙШИХ СОБЫТИЙ

Достоверный прогноз развития сейсмических событий в зоне Алтайского землетрясения невозможен вне известных фактов: данных палеосейсмологии и палеоклиматологии, сведений о землетрясениях в исторических хрониках и устных преданиях проживающих народов, характеристики степени антропогенного влияния на изменения климата, пространственной приуроченности и геометрических размеров сейсмодислокаций, о температурном режиме и изменении химического состава подземных и поверхностных вод, магнитоэлектрических и сейсмоакустических параметрах геоструктур.

Прогноз дальнейших событий по развитию сейсмической активности в «Чуйско-Курайской очаговой зоне» (по терминологии [1]) в настоящее время может быть только вероятностным, основанном на ряде допущений (предположений). В частности, сейчас невозможна достоверная оценка степени, глубины и периода воздействия Алтайского землетрясения на подземные воды и грунты межгорных котловин Чуйской и Курайской, поскольку отсутствует наблюдательная сеть по мониторингу температурного режима грунтов и химического состава подземных вод в скважинах.

В устных преданиях алтайцев и казахов отсутствуют сведения, которые свидетельствовали бы о резком изменении состояния геологической среды юго-восточного Горного Алтая (в частности, района Курайской и Чуйской межгорных впадин) после разрушительных землетрясений, происходивших 230-500 лет назад. Не отмечено резкого изменения состояния геологической среды и русскими, обосновавшимися на Телецком озере уже с 1640-1642 г.г.

Антропогенная нагрузка, усилившаяся во второй половине 20-ого века за счет резкого повышения плотности населения и увеличения масштабов сельскохозяйственной деятельности, привела к уничтожению значительной части лесов и вторичному засолению почв.

Крайние варианты регионального прогноза событий (таблица 3), по мнению автора, заключаются: либо в дальнейшем усилении сейсмичности до появления вулканизма, подобного наземному четвертичному вулканизму центрального типа межгорных котловин Восточного Саяна – Забайкалья (с которыми Горный Алтай представляет собой единую тектонически активную структуру), либо, в противоположность этому, следует полагать кратковременность воздействия Алтайского землетрясения на геологические и природные комплексы с возвратом состояния геологической среды к «спокойной» эпохе 60-90-ых годов 20-ого века (до следующего разрушительного землетрясения).

В пользу того или иного вариантов развития событий имеются определенные доказательства. В частности, кратковременность изменения режима и химического состава подземных вод, реально отмеченная для верхних горизонтов подземных вод периода 2003-2004 г.г., может являться основанием для прогноза возврата геологической среды к относительно сейсмически «спокойному» (фоновому) состоянию 60-90-ых годов 20-ого века. Наоборот, устойчивое изменение (увеличение) величины рН и изменение (увеличение) концентрации тяжелых металлов в

глубоких горизонтах подземных вод Чуйской межгорной впадины могут являться основанием для прогноза необратимых долговременных изменений состояния геологической среды после Алтайского землетрясения.

Периодичность проявления разрушительных землетрясений в этом случае, оцениваемая цифрами 230-1 000 лет, не может являться основанием для локального прогноза времени проявления следующего разрушительного землетрясения, либо же свидетельствует о том, что ныне живущие поколения не испытают новых разрушительных ударов сейсмической стихии.

Незначительная (0,26-1,7 м) амплитуда вертикального перемещения Северо-Чуйского «треугольника» вряд ли окажет заметное долговременное (необратимое) воздействие на состояние геологической среды, учитывая значительные, до 349 м, мощности вечной мерзлоты и значительные, более 500 м, мощности рыхлых грунтов Чуйской и Курайской межгорных впадин, являющихся естественным экраном между пресными поверхностными водами и сульфатно-хлоридными водами глубоких горизонтов. Наоборот, поднятие Северо-Чуйского хребта может привести к увеличению мощности вечномерзлого скального массива на 0,3-1,7 м.

Незначительные геометрические размеры поверхностных сейсмодислокаций (открытые трещины и грифоны, горизонтальная протяженность в десятки – первые сотни метров, вертикальная протяженность в первые метры-первые десятки метров) позволяют предполагать кратковременность их негативного воздействия на состояние геологической среды, учитывая значительные мощности вечной мерзлоты и рыхлых грунтов. Имеющиеся фактически данные не позволяют утверждать или опровергать предположение о наличии открытых сейсмодислокаций (трещин) в дисперсных грунтах Чуйской и Курайской межгорных впадин на глубинах более 50-100 м.

При каких условиях возможно долговременное необратимое воздействие Алтайского землетрясения на изменение состояния геологической среды? Первое: при значительной, свыше 500 м, глубине проникновения сейсмодислокаций в массив дисперсных и скальных грунтов. Второе: значительная длительность (долговременность) степени «открытости» или «проницаемости» сейсмодислокаций. Третье: необходимо наличие силы, которая использовала бы проницаемость сейсмодислокаций для транспортировки по вертикали тепла и минерализованных вод. Только совместное длительное воздействие этих факторов позволяет прогнозировать образование долговременной прямой гидродинамической (гидравлической) связи хлоридно-сульфатных подземных вод глубоких горизонтов с пресными подземными и поверхностными водами, а в итоге – привести к необратимым изменениям состояния геологической среды.

Весьма значительная глубина проникновения сейсмодислокаций в массив дисперсных и скальных грунтов может быть обеспечена только в зонах глубинных разломов, подвергшихся сейсмоактивизации: Чарышско-Теректинского, Северо-Чуйского. Преобладание регионального сжатия в кинематике геотектонических движений не позволяет прогнозировать весьма значительную длительность степени «открытости» (проницаемости) зон глубинных разломов. Вероятно, «отрыв» Северо-Чуйского «треугольника» от окружающих геотектонических блоков вызвал кратковременное образование открытых полостей в недрах земной коры вдоль поверхностей глубинных разломов. Образовавшиеся открытые полости послужили каналами для быстрого подъема гидротерм из глубин земной коры. Последующее перемещение «треугольника» могло привести к закупориванию этих полостей и прекращению подъема гидротермальных растворов. Низкая степень минерализации и нагретости подземных вод глубоких горизонтов не дают оснований для прогноза подъема горячих газированных гидротерм вверх за счет простого использования силы тяжести Земли (стремления вверх насыщенных газами минерализованных вод).

Некоторые элементы предварительного локального прогноза возможных последствий Алтайского разрушительного землетрясения все же следует отметить, поскольку эти последствия могут оказать негативное влияние на существующие селитебные зоны.

Допущение 1. Сейсмогенной активизации подвергнут только Северо-Чуйский горный массив. В этом варианте наибольшая сейсмическая активность ожидается в Можойском и Актуринском блоках, на периферии которых следует ожидать снижения сейсмической активности. Сейсмичность Можойского и Актуринского блоков может привести к поднятию восточной части Северо-Чуйского хребта, в связи с чем здесь ожидается увеличение мощности вечной мерзлоты и изменение гидрологических режимов рек, стекающих с Северо-Чуйского хребта.

Допущение 2. Сейсмогенной активизации подвергнут (дополнительно к Северо-Чуйскому горному массиву) Чибитский активный разлом меридиональной ориентировки. В этом варианте наибольшая сейсмическая активность может быть дополнительно проявлена в опасной близости (восточнее и севернее) к пос. Акташ (и - по меридиану - до с. Улаган?). Указанная сейсмичность может оказать негативное влияние на проект строительства малой Чуйской ГЭС (возможное разрушение или опасная деформация существующего турбинного здания ГЭС и подводящего водного шлюза) и спровоцировать спуск вод озера Чейбек-Коль, образованного ранее сейсмогенно-подпрудными обвалами. В противоположность этому, усиление сейсмической активности в долине р. Чибитка приведет к сейсмогенному обвалу склонового делювия на всем протяжении ущельеобразной части долины р. Чибитка, полностью или частично прекратив здесь поверхностный водоток и перекрыв автодорогу «Акташ – Улаган».

Допущение 3. Сейсмогенной активизации подвергнута, дополнительно к Северо-Чуйскому «треугольнику» и Чибитскому активному разлому, Курайско-Сарасинская зона разломов. В этом варианте наибольшая сейсмическая активность может быть дополнительно проявлена в северных бортах Курайской и Чуйской (западная часть) межгорных впадин, в связи с чем здесь ожидается изменение гидрологических режимов рек, стекающих с Курайского хребта. Не исключена активизация Чаган-Узунского оползня и возникновение новых оползней в суглинистых отложениях Чуйской степи у подножий Курайского хребта.

3. Региональный прогноз событий

№ № пп	Исходные допущения	Прогноз событий
Региональный прогноз		
1	Усиление сейсмической активности в Чуйско-Курайской очаговой зоне	<ol style="list-style-type: none"> 1. Появление вулканов центрального типа. 2. Увеличение частоты и магнитуды проявления последующих землетрясений. 2. Необратимые изменения гидрогеологического режима, температуры и химического состава подземных вод. 3. Необратимые изменения структуры и глубины развития вечной мерзлоты. 4. Необратимое засоление почв и грунтов. 6. Необратимое изменение климата.
2	«Возвращение» сейсмической активности в Чуйско-Курайской очаговой зоне к «фоновому» уровню 60-90-ых годов 20-ого века (кратковременность воздействия на геологическую среду)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Уменьшение частоты и магнитуды проявления последующих землетрясений. 2. Восстановление гидрогеологического режима, температуры и химического состава подземных и поверхностных вод. 3. Восстановление структуры и глубины развития вечной мерзлоты. 4. Замедление процессов изменения климата (засоления почв и грунтов, опустынивания степей и др.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, землетрясения (в том числе разрушительные) для Горного Алтая являются правилом, но не исключением. Землетрясения, произошедшие за последние 8 000 лет, пространственно приурочены к южной половине Горного Алтая, характеризующейся наличием мощного слоя «легкой» земной коры «гранитного» типа. Плотность землетрясений в этой части Горного Алтая изменяется в пределах 100-350 землетрясений за 35 лет (до 10 землетрясений в год). Северная часть Горного Алтая, характеризующаяся наличием «тяжелой» и «сверхтяжелой» и «тяжелой» земной коры «базальтового» типа (с минимальной мощностью «гранитного» слоя в составе земной коры), более инертна в сейсмическом отношении, а плотность землетрясений здесь составляет 10-30 землетрясений за 35 лет (1-3 землетрясения в год). Эпицентры всех разрушительных землетрясений, произошедших на Горном Алтае за последние 8 – 10 тысяч лет, расположены на юго-востоке Горного Алтая и пространственно приурочены к Северо-Чуйскому «треугольнику». Периодичность проявления разрушительных землетрясений с магнитудой более 7,0 составляет 230 – 1 000 лет и более.

Алтайское землетрясение сентября-октября 2003 года было вызвано сейсмической активностью, обусловленной перемещением более «легкого» Северо-Чуйского блока-«треугольника». Перемещению подверглась южная (основание «треугольника») и северо-восточная стороны «треугольника», сложенные карбонатно-терригенными породами живетского яруса. Суммарная энергия Алтайского землетрясения составила $1,152 \times 10^{18}$ Дж. Амплитуда вертикального перемещения Северо-Чуйского «треугольника» оценивается в 0,26-1,7 м (0,5 м в среднем). Механизм перемещения – «всплывание» более легкого участка земной коры в условиях локального горизонтального растяжения.

Сейсмодислокации, вызванные Алтайским землетрясением, хорошо проявлены в дисперсных грунтах западной части Чуйской и центральной части Курайской межгорных котловин; в плане как бы «облекают» сейсмоактивизированный скальный массив Северо-Чуйского «треугольника». Ареал излияний водно-грунтовых масс и изменения химического состава грунтовых вод пространственно совмещен с полем развития сейсмодислокаций. Генетически все наблюдавшиеся сейсмодислокации, скорее всего, связаны с прохождением продольных сейсмических волн (Р-волн), характеризующихся чередованием горизонтальных сжимающих и растягивающих усилий. При этом растягивающие горизонтальные усилия приводили к формированию открытых трещин и открытых воронок в точках пересечения линий волн, а выбросы водных и водно-грунтовых масс из сейсмодислокаций осуществлялись в условиях последующего горизонтального сжатия.

Нет оснований полагать, что сейсмическая активность Северо-Чуйского «треугольника» прекратилась сейсмическими ударами 2003 года. Также нет оснований полагать, что сейсмическая активность Северо-Чуйского «треугольника» будет постоянно поддерживаться на высоком энергетическом уровне сентября-октября 2003 года.

Рекомендуется всестороннее изучение состояния геологической среды Чуйско-Курайской очаговой зоны с целью обоснованного прогноза дальнейших событий.

Литература

1. Рогожин Е.А., Богачкин Б.М. и др. Новые данные о древних сильных землетрясениях Горного Алтая. 1998 г.
 2. Говердовский В.А. Уникально ли Алтайское землетрясение 2003 г. // Природные ресурсы Горного Алтая, 2004, №2, с. 14-16.
 2. Гусев Н.И. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые Курайской ртутной зоны. // Отчет Чуйской партии по ГСР-50 за 1983-1991 г.г. Новокузнецк, 1991.
-