

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт физики Земли им. Г.А. Гамбурцева

Е.А. Рогожин, С.Г. Платонова

**ОЧАГОВЫЕ ЗОНЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
ГОРНОГО АЛТАЯ В ГОЛОЦЕНЕ**



Москва
2002

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт физики Земли им. Г.А.Гамбурцева

Е.А. Рогожин, С.Г. Платонова

**ОЧАГОВЫЕ ЗОНЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
ГОРНОГО АЛТАЯ В ГОЛОЦЕНЕ**

Москва

2002

Рогожин Е.А., Платонова С.Г.

ОЧАГОВЫЕ ЗОНЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ГОРНОГО АЛТАЯ В ГОЛОЦЕНЕ. –

М.: ОИФЗ РАН, 2002. - 130 с.

ISBN 5-201-11950-6

Из совместной интерпретации геологических, геофизических и сейсмологических данных Горный Алтай должен характеризоваться весьма высокой геологической и сейсмической активностью с максимальными величинами магнитуд ожидаемых землетрясений от 6.0 до 8.0. Тем не менее, землетрясения с такой большой энергией здесь никогда не регистрировались в течение исторического времени. Основными результатами выполненных палеосейсмогеологических исследований являются следующие положения: 1) сильные и умеренные землетрясения происходили на Горном Алтае в голоцене не раз; 2) сейсмические очаги являются стабильными структурами в геологической среде Горного Алтая в силу специфического сочетания геологических и геофизических условий в окружающей их среде; 3) сейсмические потрясения происходят в одной и той же очаговой зоне многократно; 4) средний интервал повторения сильнейших землетрясений зависит от местных структурно-геологических условий и оценивается от 1 до 3 тысяч лет. Книга предназначена для специалистов в области наук о Земле и студентов геологических и физических факультетов вузов.

Ответственный редактор: д.г.-м.н. *Г.И.Рейснер*

Рецензенты: д.г.-м.н. *Е.В.Девяткин*, д.г.н. *В.П.Чичагов*

Rogozhin E.A., Platonova S.G.

STRONG EARTHQUAKE FOCAL ZONES OF RUSSIAN ALTAI IN HOLOCENE. – Moscow: UIPE

RAS, 2002. -130 p.

From interpretation of the geological, geophysical and seismological data the Russian (Gorny) Altai should be very geologically and seismically active province of Russia with maximum magnitudes of expected earthquakes from 6,0 up to 8,0. However, earthquakes with so large energy never registered there during historic time. The main results of the fulfilled paleoseismological researches are: 1) strong and major earthquakes took place in Russian Altai in Holocene several times; 2) seismic sources are stable structures in geological environment of Gorny Altai due to the special combination of geological and geophysical conditions; 3) seismic shocks occur in the same source zone repeatedly; 4) an average recurrence interval of the strongest shocks depends on structural and geological conditions and estimated from 1 to 3 thousand years. The book is intended for the specialists in Earth's sciences area and for students of geological and physical department of universities.

*Светлой памяти нашего коллеги,
известного исследователя Горного Алтая,
Бориса Михайловича Богачкина
посвящаем эту книгу*

ВВЕДЕНИЕ

Оценка сейсмической опасности и прогноз землетрясений – актуальная задача современных наук о Земле. За последние годы XX столетия в пределах Северной Евразии (в Армении, Восточном Казахстане, Грузии, на Курильских островах, в Корее, на Камчатке и Сахалине) произошло несколько сильнейших землетрясений с интенсивностью в эпицентре от 8 до 10 баллов. Некоторые из очагов этих землетрясений располагались на территориях, в пределах которых максимальная сила землетрясений оценивалась гораздо ниже – в 7 и даже 5 баллов. В связи с этим остро встал вопрос об оценке сейсмической опасности территорий, традиционно считавшихся слабо или умеренно активными, для которых сейсмостатистические данные обычно малочисленны, а сведения о сколько-нибудь значительных землетрясениях зачастую полностью отсутствуют.

Горный Алтай представляет собой как раз пример такой территории. В географическом отношении – это часть обширной Алтае-Саянской горной области. Соответствующая складчатая система Горного Алтая характеризуется сложным геологическим строением и богатой историей развития в фанерозое. В неотектоническую эпоху регион явился ареной активного новейшего горообразования. До настоящего времени считалось, что современные движения находят отражение в сейсмической активности относительно невысокого 6-балльного уровня [Масарский, Моисеенко, 1962; Атлас..., 1978], что подтверждалось инструментальными и историческими данными.

Отношение к Горному Алтаю как к слабосейсмичному региону было пересмотрено в 90-е годы. Сеймотектонические исследования в сопряжённых с Горным Алтаем районах Монголии и Северо-Западного Китая [Рогожин и др., 1995] и работы Г.И.Рейснера, Л.И.Иогансон [1993^{1, 2}, 1996] по оценке территорий с помощью внерегионального сеймотектонического метода выявили высокий сейсмический потенциал Горного Алтая, характеризующийся максимально возможной магнитудой (M_{max}) ожидаемых землетрясений в 7.5 ± 0.2 .

Структуры этой подвижной системы – прямое продолжение на северо-запад структур Монгольского Алтая, для которых известны многочисленные, очень сильные землетрясения [Землетрясения..., 1985], происшедшие, в частности, и в XX веке. Наши исследования показывают, что и на территории России эти "трансгосударственные" сейсмоактивные структуры способны порождать землетрясения с "монгольскими" магнитудами (более 7.0).

Однако ни в историческое время, ни в инструментальный период сейсмологических наблюдений землетрясения с такими магнитудами и вообще сильные толчки в Горном Алтае не отмечались. Для выявления реального уровня сейсмической опасности возникла необходимость проведения палеосейсмогеологических исследований, широко применяемых в мировой практике в районах, не обеспеченных в достаточной мере сейсмостатистическими данными. Таким образом, основной целью проведенных авторами исследований была оценка уровня доисторической геологической активности и современной сейсмической опасности территории сеймотектоническими методами, а также выявление пространственной и временной последовательности крупных сейсмических событий на территории Горного Алтая в голоцене и восстановление его сейсмической истории.

Для достижения этой цели было необходимо решить ряд конкретных задач:

1. Определить положение изучаемой территории в новейшей структуре Алтайской горно-складчатой системы.
2. Провести анализ геологического строения и докайнозойской истории геологического развития, предопределивших новейший и современный планы тектонической структуры подвижной системы Горного Алтая.
3. Провести анализ и сопоставление результатов камерального выделения и полевого изучения сейсмогенерирующих структур с дистанционными материалами и данными повторного nivelирования для определения степени их современной геологической активности.
4. Выявить эпицентральные зоны и конкретные сейсмодислокации древних землетрясений на исследуемой территории, установить их положение в пределах сейсмогенерирующих структур, определить время возникновения, магнитуду, кинематику смещений в очагах для этих сейсмических толчков прошлого.
5. Выяснить период повторяемости сильных землетрясений в пределах конкретных сейсмогенерирующих структур.

В ходе специально организованных полевых работ были обнаружены и закартированы первичные и вторичные сейсмодислокации неизвестных древних землетрясений на площадях 90×20 км в Чуйско-Курайской зоне межгорных впадин и 100×10 км в долине р. Джасатор; выявлен ряд сейсмогенных деформаций поверхности на сравнительно небольших площадях в пределах Уймонской, Канской впадин; на Телецком озере. Проведены рекогносцировочные геологические и специализированные сеймотектонические маршруты и описание естественных и расчищенных обнажений на территории этих межгорных впадин, на склонах Бацелакского хребта, в долине р. Джасатор, на берегах Телецкого озера, предгорной части – фаса Алтая. Некоторые из наиболее ярких сейсмодислокаций – сейсморазрывы, сейсмогенные каменные лавины и оползни изучались в горных выработках (шурфах и траншеях). Из горных выработок были отобраны образцы для определения абсолютного возраста палеосейсмодислокаций. В работе использованы результаты более 30 радиоуглеродных определений абсолютного возраста образцов.

В результате комплекса специализированных сеймотектонических и палеосейсмогеологических работ впервые для Алтая удалось выявить несомненные свидетельства древней сейсмической активности большой интенсивности. Геолого-геоморфологические полевые исследования и анализ данных определения абсолютного возраста позволили выявить тектоническую позицию целого ряда очагов древних высокомагнитудных землетрясений (Чуйско-Курайской, Чарышской, Шапшальской и других эпицентральных зон) на поверхности и положение сейсмогенерирующих структур. В качестве таких структур впервые для Горного Алтая откартированы современные складчато-блоковые структуры типа форбергов (например, Центрально-Курайская антиклинальная гряда). Пространственно привязан очаг крупного сейсмического события 1761 г., до сих пор относимого к территории Монголии. Определено время возникновения крупных доисторических сейсмических событий, и оценен период их повторяемости. Подтверждены теоретические выводы о высокой степени сейсмической опасности Горного Алтая, полученные с помощью внерегионального сеймотектонического метода оценки сейсмического потенциала Алтая, предложенного учёными ИФЗ РАН.

Собранные данные позволяют по-новому оценить уровень сейсмической опасности Горного Алтая и признать его значительно более высоким, чем это считалось ранее.

Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за поддержку (проекты 96-05-64014, 96-05-79058, 97-05-79015, 98-05-79075, 01-05-78068).

Авторы выражают искреннюю признательность О.А.Чичаговой и Л.Д.Сулержицкому за проведенные определения абсолютного возраста образцов; Г.И.Рейснеру за ценные профессиональные консультации; Ю.В.Нечаеву, В.П.Чичагову, Т.П.Белоусову, принимавшим участие в полевых работах на Алтае; В.В.Рудскому, А.Н.Куприянову и коллективу "Гербария" биологического факультета АГУ, предоставившим возможности и дружескую поддержку при проведении полевых исследований.

Глава 1

МЕТОДИКА РАБОТ

1.1. Термины и определения, применяемые при сеймотектонических работах

При обзоре сейсмогеологических, геодинамических и сеймотектонических особенностей территории Горного Алтая мы исходили из известного представления о том, что коровые землетрясения есть частный геологический процесс, представляющий собой одно из наиболее динамичных проявлений эндогенных движений земной коры по разломам [Губин, 1960; Гзовский, 1975; Горшков, 1983]. Из этого положения следует, что сейсмический процесс по-разному проявляется в геодинамически различных структурных зонах. Иными словами, землетрясения возникают в определённом соответствии с геологической структурой, и, прежде всего, с особенностями разломной тектоники.

Сейсмические очаги, как правило, приурочены к зонам крупных разломов. С нарастанием энергии землетрясения становятся всё более сложными структурно. То есть в природе существуют сравнительно просто устроенные очаги, приуроченные к плоскостям крупных разломов или формирующиеся в дизъюнктивных узлах разного ранга, и очень сложные очаги землетрясений, характеризующиеся объёмной структурой плоскостей сместителей, развивающихся вдоль границ крупных сейсмогенных блоков. Различаются также сейсмические очаги, относящиеся к межплитному и внутриплитному типам [Рогожин, 2000].

В настоящее время принято считать, что землетрясения возникают в результате быстрой, практически мгновенной разрядки длительно накапливающихся в определённых объёмах земной коры упругих напряжений [Белоусов, 1975, Шебалин, 1997]. Их частичное снятие происходит в одних случаях при подвижках по ранее существовавшим ослабленным зонам, в других – при деструкции относительно прочной среды с новообразованием сейсмогенных разрывов. Накопление сейсмогенерирующих напряжений обусловлено непрерывно действующими в земной коре эндогенными процессами. Предполагается, что эти процессы в определённых геодинамических условиях имеют квазипериодический, направленный и сравнительно долговременный характер. По крайней мере, они вполне могут быть экстраполированы на неотектонический этап.

Исходя из понимания сущности сеймотектонических движений как историко-геологической категории, при анализе сейсмогенных структур в Горном Алтае, авторы пытались отмечать связь древних землетрясений с тектоническими структурами; степень их зависимости от предшествующей истории геологического развития; особенности распределения сейсмогенерирующих структур в пространстве и во времени.

Термин “сейсмодислокация” введён в обращение В.П.Солоненко [1968] для обозначения разнообразных локальных проявлений на поверхности деформаций, сопровождающих сильнейшие землетрясения. Под сейсмодислокациями понимается комплекс выраженных в рельефе остаточных (тектонических и гравитационных) деформаций, образование которых невозможно объяснить никакими другими причинами кроме сейсмических [Чернов, 1978].

Масштаб и характер этих структур, как в случае древних нарушений поверхности, так и в случае современных сейсмодислокаций, дают прямую информацию о силе землетрясений, обусловивших их формирование. Точность такой интерпретации определяется возрастом структуры, т.е. степенью сохранности – выраженностью в современном рельефе остаточных деформаций [Солоненко, 1959; Флоренсов и др., 1960; Живая ..., 1966; Солоненко и др., 1968]. Анализ литературных данных по изучению подобных образований в Восточной Сибири, Монголии [Землетрясения ..., 1985; Сейсмотектоника ..., 1993] и многих других сейсмоактивных регионах показал, что палеосейсмодислокации могут длительное время оставаться достаточно чётко выраженными в рельефе (при крупномасштабных дислокациях – до первых тысяч лет). В условиях активных экзодинамических процессов в высокогорных районах (в том числе и на прилегающей сейсмоактивной территории Монголии) большинство линейных систем таких нарушений сохраняется на протяжении сотен и даже первых тысяч лет.

Каждая сейсмодислокация состоит из двух элементов: основного морфогенного – долгоживущего и сопутствующего – короткоживущего. По мере старения сейсмодислокации исчезает всё большее количество признаков её сейсмогенности, пока не наступает такой момент, когда яркая в прошлом сейсмодислокация либо теряет морфологическое выражение, либо становится неотличимой от других тектонических или гравитационных форм рельефа, не связанных с сейсмическими проявлениями.

Выделяют первичные – собственно сейсмотектонические и вторичные – гравитационно-сейсмотектонические и сейсмогравитационные геодинамические структуры [Солоненко, 1973].

К сейсмотектоническим структурам отнесены разрывы со смещением (сеймосбросы, сейсмозбросы, сейсмодвиги). Морфологически они выражены часто в виде тектонических уступов-эскарпов или сейсмических рвов. Разрывы со смещением возникают при наиболее сильных землетрясениях ($I \geq 8$ баллов). Показателем их молодости является хорошая сохранность поверхности сместителя (уступа) и выдержанность амплитуды смещения при прослеживании уступа по простиранию. Первичный, негравитационный характер остаточных нарушений часто подтверждается тем, что они трассируются в виде протяженных линейных зон, не считаясь с рельефом или маскируясь под малоамплитудные уступы или перегибы рельефа. Сопутствующие элементы сейсморазрывов – смещение естественных (корней и стволов деревьев, долин рек и ручьёв, образование новых водопадов и врезанных русел, формирование подпруженных участков рек и др.) и техногенных (дорог, различных сооружений, оград и т.п.) поверхностных объектов. Продолжительность сохранности естественных сопутствующих элементов сейсморазрывов различна, но, как правило, невелика – десятки и сотни лет.

К этой же группе явлений следует отнести зияющие трещины без видимого смещения, возникающие при землетрясениях 7-8 баллов и выше. Поскольку они слабо выражены в перепадах рельефа, то их сохранность измеряется годами и первыми десятками лет, редко больше. Сейсмогенные трещины, возникающие вдоль свежего, крутого каменистого склона, поглощают глыбовый материал коллювиального генезиса. Такие коллювиальные клинья являются наложенным элементом структуры, поскольку они не связаны непосредственно с сейсмическим про-

цессом. Попадающие сюда остатки растений и мелких животных могут сохраняться десятки тысяч лет. Отыскать такие структуры затруднительно на фоне развивающихся склоновых процессов. Трещины также сопровождаются разрывами поверхностных образований – почв и палеопочв [Чернов и др., 1974].

К гравитационно-сейсмотектоническим явлениям В.П.Солоненко [1968] относит сбросо-обвалы или гравитационно-сейсмотектонические клинья – смещения горных масс под влиянием силы тяжести, вызванные движением крыльев разломов, образованные в условиях высокой расчлененности рельефа. Эти структуры отличаются от сейсморазрывов в основном тем, что они замкнуты. Существенно то, что и сейсморазрывы, и сбросо-обвалы, постольку, поскольку они являются палеосейсмодислокациями, сопровождаются гравитационными явлениями – осыпями, обвалами и оползнями. Оценить в полной мере масштабность проявлений сбросо-обвалов в пределах изученных эпицентральных зон Горного Алтая проблематично из-за их значительной древности.

К этому же типу сейсмодислокаций относятся колловиальные клинья, образующиеся в опущенном крыле сейсмозбросов при быстром гравитационно-денудационном разрушении висячего крыла. При этом под обвалившимся "козырьком" взброса часто сохраняется погребенная палеопочва. На основании датировок таких палеопочв можно составить представление о времени возникновения сейсморазрыва, а, следовательно, и породившего его землетрясения.

К сейсмогравитационным явлениям относятся трещины отрыва и отседания склонов, оползни, камнепады, осыпи и обвалы горных масс. Сейсмогенные оползни морфологически выражены оползневыми цирками, в которых значение основного элемента имеет тыловая стенка отрыва, а в роли сопутствующего элемента выступают оползневые массы. Последние могут находиться перед оползневым цирком, как у обычного оползня, могут быть выдвинуты вперед длинным языком разрушенных при землетрясении и обрушении масс породы и, наконец, могут быть отброшены на некоторое расстояние подземным ударом.

Сейсмозбросами или каменными лавинами называется явление перемещения оторванных масс под воздействием сильного сейсмического удара. Отброшенные массы в зависимости от направления и силы удара могут находиться несколько дальше, чем они находились бы, в случае, если бы их перемещение было вызвано только силами гравитации. Большая амплитуда перемещения может быть связана также с образованием воздушной подушки в подошве сейсмического обвала или попаданием обводненных аллювиальных толщ под обвальные массы.

К сопутствующим элементам сейсмоструктур можно отнести осыпи, имеющие, как правило, меньшую продолжительность сохранности, чем основные. При умеренных землетрясениях ($I \leq 8$ баллов) основные сейсмопроявления образуются не часто, а сопутствующие элементы расцениваются в качестве сейсмогенных только тогда, когда удастся доказать их связь с очагом. Осыпи имеют широкое распространение, как в пределах самих эпицентральных зон, так и в их горном обрамлении.

В обстановке невысокого уровня современной сейсмичности региона, характерной, к примеру и для Горного Алтая, повторяемость сильных землетрясений может выражаться пе-

риодами, сопоставимыми с продолжительностью жизни морфоструктур. В таком случае перед новым сильным землетрясением в рельефе местности не остаётся или почти не остаётся следов старых землетрясений. Такое положение создаёт большие трудности для определения по палеосейсмогеологическим данным положения и размера древней очаговой зоны и восстановления периода повторяемости сильных землетрясений на какой-либо территории.

1.2. Теоретические предпосылки и методика сеймотектонических исследований

Полевым сеймотектоническим работам в Горном Алтае предшествовал анализ сейсмического прогнозного потенциала для прилегающих районов Монголии и в целом Зайсано-Алтайской области. Тектонической зоне Монгольского Алтая в сеймотектоническом аспекте по всем параметрам оказалась подобна зона Горного Алтая. Обе зоны являются энсиалическими складчатыми системами каледонской консолидации, характеризуются мощной земной корой, пронизанной обширными гранитоидными массивами разного состава и возраста, и, как выяснилось, имеют близкие оценки максимально возможной магнитуды ожидаемых землетрясений (M_{\max}). При этом сейсмогенерирующие зоны Западной Монголии с высоким сейсмическим потенциалом имеют своё структурное продолжение на территорию Рудного и Горного Алтая. На основании такого сходства было сделано предположение о том, что мощная континентальная кора каледонского возраста Горного Алтая, вероятно, может продуцировать сильные землетрясения "монгольского" типа [Рогожин и др., 1995].

Это предположение о высоком сейсмическом потенциале Алтая, базирующееся на чисто сеймотектоническом сходстве двух зон, нашло подтверждение в результатах работ с применением внерегионального метода, проведенных Г.И.Рейснером и Л.И.Иогансон в 1990-1996 гг. Остановимся детальнее на описании метода, так как результаты этих работ широко использовались при палеосейсмологических исследованиях.

Названный метод был использован при оценке сейсмического потенциала Центральной и Западной Европы, Западной России, других стран СНГ и Балтии [Рейснер, Иогансон, 1993] 2; [Reisner, Ioganson, 1996], Западной Монголии и Зайсано-Алтайской области [Рогожин и др., 1995], Горного Алтая [Рейснер, Иогансон, 1996], Сахалина [Reisner et al., 1999]. Правильность прогнозных оценок, сделанных с помощью метода, подтвердил ряд землетрясений (Рачинское 1991 г., Барисахское 1992 г., Сусамырское 1992 г., Западно-Македонское 1995 г. и Углегорское 2000 г.), которые произошли уже после оценки M_{\max} для названных районов.

Основа метода оценки прогнозного потенциала заключается в типизации земной коры на базе комплекса исходных геолого-геофизических данных, достаточно полно характеризующих современное строение и состояние земной коры. Для проведения комплексной типизации земной коры и выявления различных сеймотектонических обстановок использовались сведения о плотности теплового потока (Q), мощности земной коры (T), высоте рельефа (R), изостатических аномалиях силы тяжести (I), мощности осадочного чехла (F) и контрастности рельефа (DR). Все исходные данные были осреднены на площади элементарной ячейки размером $20' \times 30'$

градусной сетки. Величина общего массива исходных данных по Северной Евразии составила 9566 элементарных ячеек, каждая из которых имела характеристику по всем шести перечисленным исходным параметрам.

Обработка исходной информации, т.е. собственно типизация земной коры на многопризнаковой основе, проводилась с использованием процедуры кластерного анализа, позволяющей в многомерном пространстве объединять в один кластер (тип, или вид коры) ячейки, характеризующиеся сходным геолого-геофизическим описанием. Далее из этого обработанного массива была вычленена часть, относящаяся к территории Горного Алтая.

Полученная типизация земной коры является базовой для дальнейшего прогностического анализа. По сути дела, она представляет собой набор характерных для всей изученной области сейсмотектонических обстановок, занимающих в пространстве вполне определенное положение. Предполагается, что каждый выявленный тип коры, включающий некоторое количество элементарных ячеек, представляет собой такую индивидуальную сейсмотектоническую обстановку, в каждом элементе (ячейке) которой могут возникать землетрясения, достигающие по своей силе некоторой конечной величины сейсмического потенциала – M_{\max} .

После проведения типизации земной коры прогностическая задача решалась, как и всегда ранее, в несколько этапов примерно по одной и той же схеме. При ее реализации необходимо было выполнение следующих основных операций:

1. Составить каталог ячеек-учителей для каждого типа сейсмотектонической обстановки в соответствии с имеющимся каталогом зарегистрированных землетрясений; ячейкой-учителем считается та из них в пределах каждого типа сейсмотектонической обстановки, в пределах которой зарегистрирован эпицентр максимального для этого типа землетрясения.

2. Провести экстраполяцию результатов обучения, т.е. распространить полученную для каждой сейсмотектонической обстановки величину M_{\max} на все ячейки, принадлежащие этому же типу.

3. Для каждой ячейки, в пределах которой получена оценка M_{\max} , определить конкретную структуру, с которой может быть связано прогнозируемое землетрясение.

Для районирования Алтая по прогнозным M_{\max} в качестве обучающего использовался сейсмологический материал по территории большей части Европы и Средней Азии. Результаты районирования рассматриваемого региона показали, что его прогнозный потенциал чрезвычайно высок. Достаточно сказать, что максимальная зарегистрированная магнитуда в Зайсано-Алтайской области составляет 6.9 (Зайсанское землетрясение 1990 г.), а максимальная прогнозная – 8.3. Площади с этой оценкой образуют обособленный ареал в северо-западной части Алтайской горной страны, что обусловлено распространением здесь сейсмотектонической ситуации, аналогичной той, с которой было связано Чиликское землетрясение 1889 г. на Северном Тянь-Шане. Кроме того, в Иртышской зоне смятия (Рудный Алтай) распространена обстановка, аналогичная району возникновения Кеминского землетрясения 1911 г. на Тянь-Шане с $M=8.2$, а в некоторых других местах Алтая – Верненского землетрясения 1887 г. с $M=7.3$.

К зонам, имеющим $M_{\max}=7-8$, примыкают обширные площади с $M_{\max}\geq 6$, в пределах которых развиты сейсмотектонические ситуации, характерные для Беловодского 1885 г. ($M=6.9$), Кемино-Чуйского 1938 г. ($M=6.9$), Ташкентского 1868 г. ($M=6.4$) и некоторых других землетрясений [Новый ..., 1977].

Прогнозные оценки $M_{\max}\geq 6$ заметно преобладают в пределах Горного и Рудного Алтая (рис.1). Западнее, в Обь-Зайсанской области, наоборот, районы распространения $M_{\max}\geq 6$ имеют подчинённое значение и связаны в основном с распространением сейсмотектонической ситуации, характерной для местного землетрясения 1988 г. с $M=6.5$. Интересно, что сейсмотектоническая ситуация Зайсанского землетрясения с $M=6.9$ не повторяется в пространстве и ограничена в этой области только собственной очаговой зоной. Отчётливая граница районов с различным прогнозным сейсмическим потенциалом проходит по Иртышской зоне смятия.

При проведении настоящих сейсмотектонических исследований Горного Алтая, на основе изложенных выше теоретических предпосылок, использован ряд традиционных и современных методов полевых геологических и геоморфологических и лабораторных исследований.

Первым делом – комплекс методов, используемых для сбора, хранения, обработки и обобщения геологической (в том числе и методы литологии, тектоники, стратиграфии), геофизической информации, с использованием дистанционных и геодезических материалов.

При полевых исследованиях использовались методы структурного геолого-геоморфологического картирования активных на современном этапе структур (разломов, складок, блоков) и палеосейсмогеологический. Последний метод является особенно важным при выявлении и описании первичных и вторичных сейсмодислокаций землетрясений прошлого и оценки их сейсмической интенсивности [Флоренсов и др., 1960; Солоненко, 1959, 1973].

При изучении сейсмогенных структур разномасштабные и разнообразные по морфологии и генетическим типам дислокации обычно связывались с одновременными сейсмическими событиями прошлого. В соответствии с опытом работ в районах известных землетрясений [Рогожин, 1993; Рогожин, Богачкин, 1993; Рогожин, Леонтьев, 1992; Рогожин и др., 1993; Уломов, 1998 и др.] и с учётом параметров палеосейсмодислокаций (протяжённости и амплитуды смещений) были определены магнитуды палеоземлетрясений выявленных эпицентральных зон.

В ходе полевых исследований эпицентральных зон доисторических землетрясений на Алтае широко применялся метод изучения сейсмодислокаций в траншеях, с отбором образцов на определение абсолютного возраста пород разреза. Этот метод известен надёжностью и информативностью и приобрёл большую популярность при палеосейсмологических исследованиях в России и во многих странах мира, начиная с 80-х годов, под названием метода “трэнчинг”. Сведения о результатах работ с использованием этого метода содержатся во многих работах, в частности в следующих публикациях [Рогожин, Леонтьев, 1992; Нечаев, Рогожин, 1992; Рогожин, Богачкин, 1993; Рогожин, 1993, 1998; Богачкин, 1993; Кочетков и др., 1993; Rogozhin, 1994; Дельво и др., 1995; Рогожин и др., 1995, 1996, 1998, 1999; Рейснер и др., 1996; Рогожин, Балжинням, 1995; Obermeier, 1995; Ge Shumo et al., 1996; Feng Xianyu, 1996; Богачкин и др., 1997].

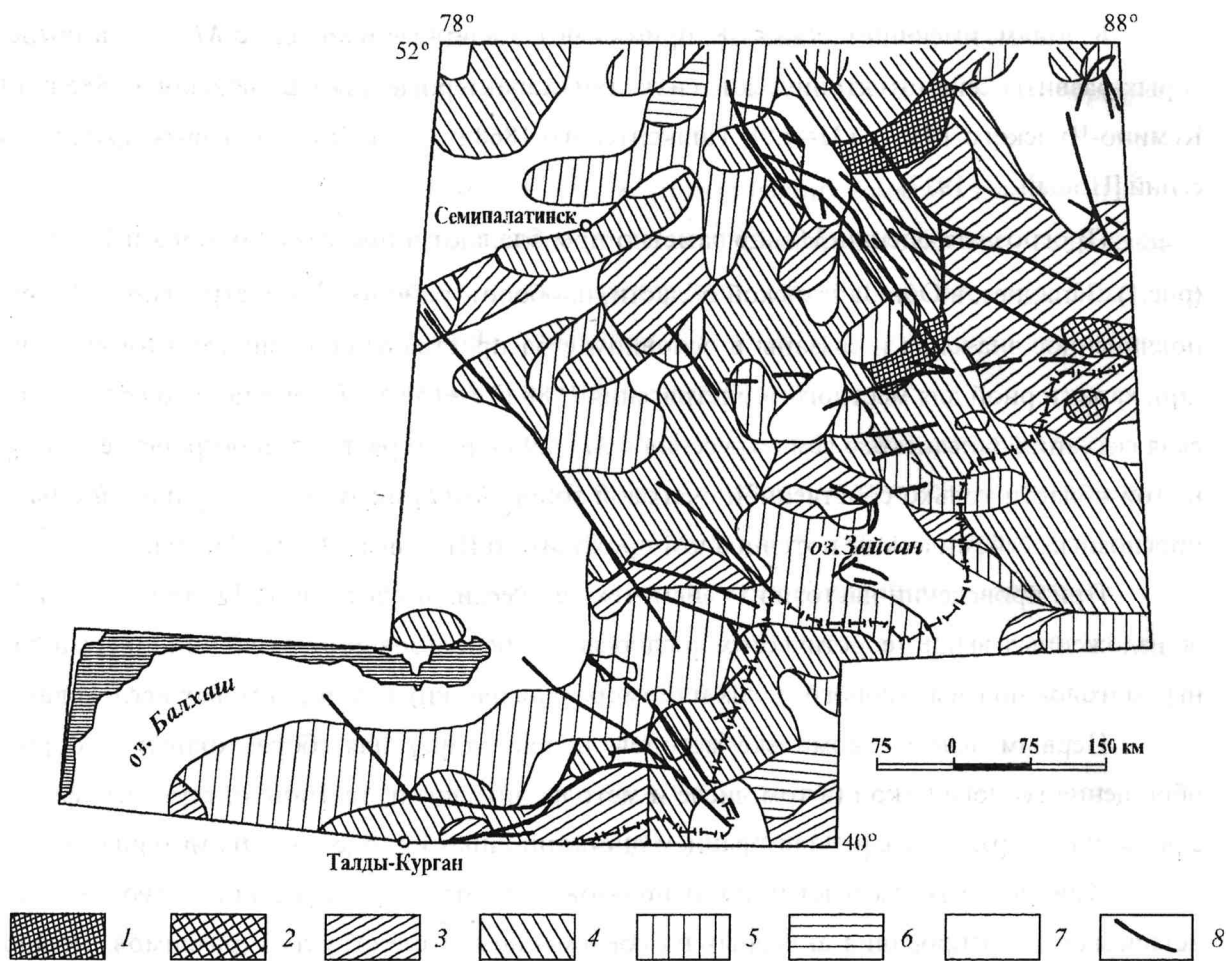


Рис. 1. Карта расчёта сейсмического потенциала Зайсано-Алтайской области (составили Л.И.Иогансон, Г.И.Рейснер, 1995)

1-6 – поля с разными значениями прогнозируемой M_{\max} : 1 – $M > 8.0$; 2 – $7.9 > M > 7.0$; 3 – $6.9 > M > 6.0$; 4 – $5.9 > M > 5.0$; 5 – $4.9 > M > 4.0$; 6 – $M < 3.9$; 7 – поля, на которых оценка не проводилась; 8 – крупнейшие разломы, активные в новейшее время

При изучении разрывных дислокаций обращалось внимание на микропетрографические признаки (гипергенную минерализацию, развитие окислительной среды, изменение малоустойчивых минералов), процессы аутометаморфизма, окисления, растворения и цементации, признаки обновления, являющиеся следствием новейших и современных приразломных движений.

Геоморфологический метод применялся при полевом крупномасштабном картировании элементов рельефа с целью выявления как первичных, так и вторичных сейсмогенных структур, с использованием топокарт масштаба 1:25 000, 1:100 000, 1: 200 000 и аэрофотоснимков масштаба 1:50 000. При этом картировались положение и морфология цирков отрыва оползней и обвалов. Выявлялась форма тел обвальных масс в плане; оценивались объёмы, и амплитуда горизонтального перемещения масс горных пород при породивших их землетрясениях; определялось взаимоотношение с другими формами рельефа (поймами, террасами рек и т.д.). Горизонтальные смещения при первичных деформациях фиксировались по смещению участков долин и

колленообразных изгибов долин рек и ручьёв; вертикальные – по смещениям поверхностей выравнивания, террасовых уступов речного и озёрного происхождения, отложений кайнозойского комплекса.

Время образования сейсмогенных смещений предварительно определялось по взаимоотношениям палеосейсмодислокаций с элементами рельефа.

Для определения абсолютного возраста сейсмогенных деформаций производился отбор образцов палеопочв, костей животных, углей, древесных щепок. Радиоуглеродный анализ (по методу ^{14}C) проводился в лабораториях Института географии РАН и Геологического института РАН.

При интерпретации полевых материалов использовались результаты дешифрирования аэро- и космических фотоснимков, а также геодезических работ по повторному нивелированию участков Чуйского автотракта.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ АЛТАЯ

План новейших и современных движений Горного Алтая в значительной степени был предопределён всем предыдущим тектоническим развитием территории. Для понимания и выявления пространственного и временного распределения эпицентральных зон крупных землетрясений Горного Алтая необходимо выполнить обзор его геотектонического положения в общей структуре Алтайской горной системы, дать характеристику структурно-геологических комплексов докайнозойского фундамента Горного Алтая и прилегающих к нему территорий и определить их соотношения с кайнозойской структурой.

2.1. Докайнозойская структура региона

2.1.1. Общие структурно-геологические особенности Алтайской горной страны

Алтай представляет собой горную систему – западную часть Алтае-Саянской области палеозойской складчатости Южной Сибири, простирающуюся более чем на 2000 км с северо-запада (от Западно-Сибирской равнины) на юго-восток (до Гоби), от Западного Саяна – на востоке до Иртыша (Калбинской зоны) – на западе. Тектонический план этой обширной территории определяется наличием нескольких крупных структур земной коры, отличающихся возрастом консолидации и составом субстрата. На севере региона расположены структуры собственно Алтая (подразделяющегося на Горный и Юго-Западный), на юге – Монгольского Алтая и Гобийского Алтая. В общем плане в направлении с юго-востока на северо-запад наблюдается постепенное омолаживание возраста консолидации тектонических зон. Зоны энсиалического заложения перемежаются с энсиматическими [Рогожин и др., 1995].

Тектонические зоны Алтайской горной области имеют в плане форму пологой, выпуклой к юго-западу дуги (рис.2). В тылу этой дуги располагается пояс салаирид прилегающей с юго-востока Озёрной тектонической зоны, образовавшейся на древней коре океанического типа [Дергунов и др., 1980, 1982]. С запада Салаирский пояс обрамляется каледонидами Монголо-Алтайской зоны, охватывающими одноимённую систему хребтов на западе Монголии. На их северо-западном продолжении в пределах Российской Федерации располагаются каледонские структуры Горно-Алтайской зоны, имеющие линейную северо-западную ориентировку. Узкая, выклинивающаяся в юго-восточном и восточном направлениях в районе сочленения со структурами Гобийского Алтая, зона каледонид становится широкой в пределах Монгольского и Горного Алтая.

Разрезы Монголо-Алтайской зоны представлены преимущественно нижнепалеозойскими терригенными, карбонатно-терригенными флишоидными и кремнисто-сланцевыми комплексами, часто высокометаморфизованными (до уровня амфиболитовой фации) и прорываемые разнообразными гранитоидами ранне-среднепалеозойского возраста. На структуры этого