

**О СВЯЗИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПАМИРО-  
ТЯНЬ-ШАНЬСКОГО РЕГИОНА С АТМОСФЕРНЫМИ  
ПРОЦЕССАМИ**

Доктор геогр. наук Е. Н. Панова  
Г. Н. Чичасов

*Исследуются зависимости между сейсмичностью Земли и характеристиками региональных атмосферных процессов. Выявлено, что большая часть крупных землетрясений, зарегистрированных в Казахстане и Средней Азии за период 1978-1990 гг. возникали в период резких перестроек барических полей.*

В последнее время получено большое количество данных, указывающих на связь землетрясений с атмосферными процессами [13,14]. Отмечается не только ослабление или усиление атмосферной циркуляции, но даже изменение ее формы перед и после крупных землетрясений. Такие изменения могут носить не только локальный характер. Так, при исследовании связи землетрясений с глобальными атмосферными процессами А. Д. Сытинским [13] было обнаружено, что положение эпицентров сильных подземных толчков, возникающих во время планетарных перестроек барических полей, зависит от особенностей таких перестроек и, в частности, от географического распределения знаков барической тенденции. Иными словами, время и место возникновения сейсмической активности зависят от момента и характера смены формы циркуляции атмосферы. Исследованные им сильные землетрясения в западном полушарии в основном совпадали по времени с одной стороны с максимумами положительной барической тенденции при относительно высоком атмосферном давлении на севере Америки и даже в Исландской депрессии, а с другой стороны с максимальной отрицательной барической тенденцией при низком давлении в Баренцевом море и в северной части Восточной Европы.

Под влиянием общепланетарной циркуляции формируются региональные особенности атмосферных процессов, представляющие особый интерес при изучении связи землетрясений с резкими перестройками барических полей, т.е. быстрыми перераспределениями статических нагрузок на земную поверхность.

В непрерывном общем синоптическом процессе можно выделить отдельные особенности. Например, стационарирование (малоподвижность) антициклона или циклона, перемещение антициклона по какой-либо траектории с севера, северо-востока или запада, движение циклона с запада на восток или смещение их с юга и юго-запада. Эти особенности синоптических процессов легли в основу их типизации для Европейской части России, Средней Азии и Дальнего Востока. Наиболее всесторонняя характеристика синоптических процессов Средней Азии дана в монографии [12]. Накопленный за последние годы синоптический материал позволил авторам [8,9] уточнить и расширить их. В процессе настоящих исследований проведена типизация атмосферных процессов в Казахстане за период 1978-1987 гг., в результате которой все многообразие процессов сведено к 9 типам. Решающее значение при данной типизации имело динамическое взаимодействие различных воздушных масс над территорией республики.

К первой группе типов атмосферной циркуляции отнесены малоподвижные атмосферные образования, такие, как зимний и летний антициклон, малоподвижный циклон, а также стационарный антициклон в Поволжье. Ко второй группе типов атмосферной циркуляции отнесены динамичные атмосферные процессы: западное вторжение холодного антициклона, северо-западное холодное вторжение и северное вторжение, а также выход южного циклона на территорию Казахстана. К третьей группе отнесены атмосферные процессы, на которые существенное влияние оказывает высотная фронтальная зона. Это - широтный вынос тепла на Казахстан, направленный по широтным кругам вдоль горных систем южной части Европы. Следует отметить, что продолжительность отдельного процесса колеблется в небольших пределах

от 4 до 6 сут. Однако, в отдельных случаях синоптический период может длиться 16-18 суток. Наиболее устойчивыми бывают процессы с циклонической циркуляцией. В среднем же продолжительность каждого отдельного периода 4,0 - 4,7 сут. Можно отметить большую продолжительность северо-западных и западных вторжений зимой (5,3; 5,2 сут), северного холодного вторжения осенью (5,0 сут) и выхода южных циклонов весной (5,1 сут). Неустойчивостью отличаются весенние процессы. Например, продолжительность типа с антициклональной циркуляцией весной составляет 3,9 сут, западного и северного вторжений - 3,7 сут и стационарного антициклона весной и летом 3,9; 3,8 сут. Осенью малоустойчивы северо-западные вторжения (3,6 сут) и выход южных циклонов (3,4 сут).

При исследовании взаимосвязи крупных землетрясений с атмосферными процессами представляется интересным выяснить, в какие сутки синоптического периода они наблюдались. С этой целью были проанализированы 290 случаев землетрясений, зарегистрированных на территории Среднеазиатских республик и в Казахстане за период 1978 - 1990 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Повторяемость крупных землетрясений в различные сутки синоптического периода

Сезон	Сутки синоптического периода				
	1	2	3	4	5 и более
Холодное полугодие	22	39	43	31	17
Теплое полугодие	28	30	32	26	22
Год	50	69	75	57	39

Как видно из данных табл.1 в холодный период произошло 152 землетрясения, а в теплый-138. Наиболее часто сильные подземные толчки отмечаются на трети сутки периода, что особенно четко выражено в холодное полугодие. Такое распределение повторяемостей возникновения крупных землетрясений по суткам естественно-синоптического периода можно объяснить тем, что чаще всего в середине периода происходит смена воздушных масс в регионе. Это относится ко всем девяти типам циркуляции.

При антициклональной циркуляции чаще всего в середине периода начинается смещение антициклона на восток или пополнение его массами арктического воздуха. При циклоническом типе циркуляции землетрясения происходят во время прохождения оси ложбины по западным областям Казахстана. При западном, северо-западном и северном вторжениях, холодные атмосферные фронты чаще всего проходят через Казахстан и Среднюю Азию в середине синоптического периода. При стационарировании антициклона над Поволжьем или Западным Казахстаном в центральные сутки периода, как правило, начинается его сдвиг. Сложнее проследить момент изменения характера воздушных масс в случаях с широтным выносом тепла и западно-восточным переносом воздушных масс.

При исследовании связи землетрясений с атмосферной циркуляцией привлекались рассчитанные повторяемости типов региональных синоптических процессов в сутки землетрясения и за несколько суток до него. Всего проанализировано 314 случаев, которые сгруппированы по календарным сезонам и в целом за год. Наибольшее число крупных землетрясений отмечается при антициклонической циркуляции и волновой деятельности в горах и равно 72. Значительно реже они наблюдались при циклонических процессах. Таких случаев было всего 48. Привлекает внимание увеличение частоты циклонической циркуляции ко дню с землетрясением зимой и весной. Это указывает на то, что зимой и весной крупные подземные толчки происходили в сутки максимальной отрицательной барической тенденции ( $\delta P$ ) и при относительно низком давлении в эпицентре.

Летом же к нулевым суткам повторяемость циклонической циркуляции уменьшается, что свидетельствует о начале перестройки барических полей, а значит и смене воздушных масс в регионе. Достаточно много крупных землетрясений (50 случаев) произошло при западно-восточном переносе. Незначительное число подземных толчков, наблюдавшихся при других типах атмосферной циркуляции не позволяет провести корректный анализ.

Если существует связь землетрясений с глобальными и региональными атмосферными процессами, то она должна проявиться и с метеорологическими данными в отдельных пунктах, расположенных в радиусе 100 км от эпицентра. Интересные на наш взгляд результаты получены при анализе реакции атмосферного давления на сильные подземные толчки. За несколько часов до сильного подземного толчка в 83 % всех случаев наблюдались резкие перепады тенденции атмосферного давления.

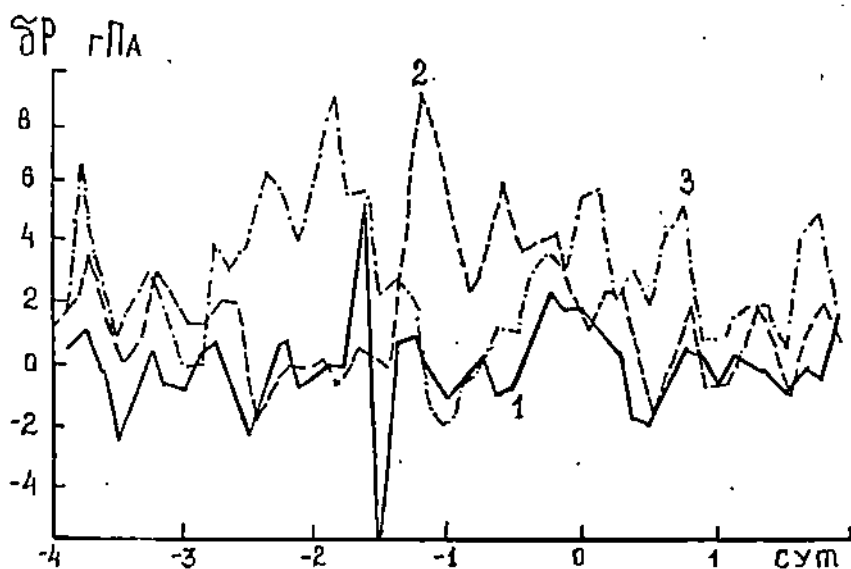


Рис. 1. Временной ход тенденций атмосферного давления на станциях Панфилов и Иссык за 4 суток до и сутки после крупных землетрясений происшедших 12 октября 1980 г. (1), 23 октября 1984 г. (2), 25 января 1986 г. (3)

На рисунках 1-2 приведено несколько примеров с резкими колебаниями тенденций давления перед крупными землетрясениями в Казахстане. К одному из наиболее ярких примеров можно отнести изменение давления перед землетрясением с очагом вблизи Панфилова, зарегистрированным 12 октября 1980 г. (рис.1). Перепад  $\delta P$  между тремя сроками 11 октября составил 33 гПа. За сутки до землетрясения, возникшем также в районе Панфилова, но четырьмя годами позже, 23 октября 1984 г., амплитуда тенденции составляла 16 гПа (рис.1). Перед землетрясением, отмеченным в районе Иссыка 25 января 1986 г. за 46 ч до толчка началось резкое падение давления и продолжалось оно восемь последующих сроков наблюдений. Затем тенденция сменила знак на противоположный и время толчка приходится на середину ветви подъема  $\delta P$  (рис.1).

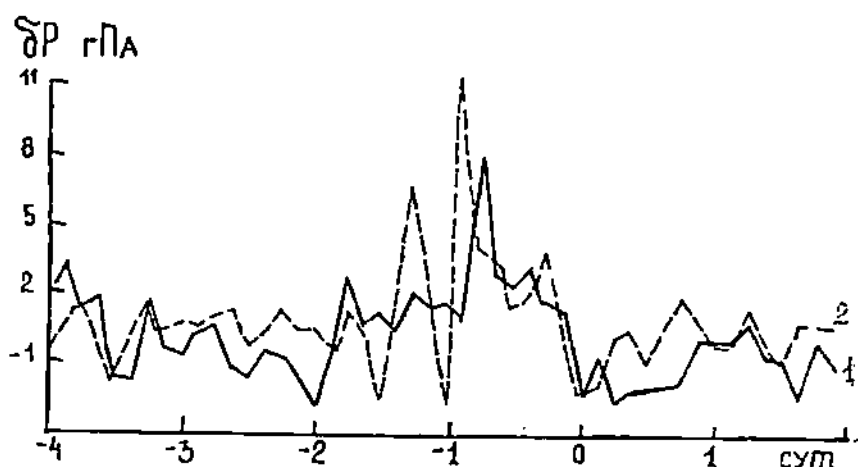


Рис.2. Временной ход тенденций атмосферного давления на станции Ленинабад за 4 суток до и сутки после крупных землетрясений, происшедших 14 февраля 1979 г. (1) и 13 октября 1985 г. (2)

Интересны примеры с изменениями  $\delta P$  перед крупными землетрясениями, зарегистрированными в одном и том же районе Таджикистана, близ Ленинабада, но в разные годы и сезоны. Так трехчасовая тенденция 14 февраля 1979 г. начала резко расти за 6 ч до землетрясения и достигла максимального значения 8,0 гПа за 40 мин до толчка (рис.2). Два всплеска в ходе  $\delta P$  произошли перед землетрясением 13 октября 1985 г. Первый - за 36 ч, а второй - за 15 ч до мощного подземного толчка, магнитуда которого составила 6,0 (рис.2).

Итак, анализ характера изменений атмосферного давления на станциях, расположенных вблизи эпицентров крупных землетрясений показал, что в преобладающем большинстве случаев одна из его характеристик (тенденция) претерпевает резкие колебания за 1-3 суток до сильного толчка. Статистические оценки этих колебаний, подтвержденные критериями Стьюдента и Фишера превышают табличные на 1 %-ом уровне значимости.

Выявленные на архивных материалах особенности динамики глобальных и региональных атмосферных процессов, а также флуктуации метеорологических характеристик перед крупными землетрясениями, получили яркое подтверждение в случае последнего сильного подземного толчка, зарегистрированного 19 августа 1992 г. в Кыргызстане. Утром, в 06 ч 04 мин московского времени первый толчок с магнитудой 7,3 произошел на северо-восточном окончании Алайского хребта, где он вплотную подходит к Ферганскому хребту, в долине реки Тар с координатами (40,2° с.ш., 74,0° в.д.). Второй, менее сильный толчок с магнитудой 6,7 был отмечен через 01 ч 08 мин. Его эпицентр находится в 185 км от первого, на берегу горной речки, стекающей с южных склонов Сусамырского хребта и впадающей в Токтогульское водохранилище (41,6° с.ш., 73,3° в.д.). Волны от эпицентров этих землетрясений распространились на довольно большую территорию. Колебания земли силой в 5-6 баллов ощущались на расстоянии порядка 1000 км, в том числе и в г. Алматы.

О перестройке глобальных атмосферных процессов перед этим землетрясением указывает на то, что оно произошло в первые сутки естественного синоптического процесса. Два предшествующих ему периода, с 9 по 12 и с 13 по 18 августа, характеризовались малоподвижной высотной ложбиной, ось которой с 9 по 12 августа была ориентирована с о. Шпицберген на Душанбе, а с 13 по 18 августа - с о. Новая Земля на озеро Балхаш. Стационарные волны большой амплитуды в толще тропосферы свидетельствуют о меридиональном состоянии общей циркуляции атмосферы, которое по географическому положению ложбин и гребней согласно классификации Вангенгейма соответствует меридиональному типу E. В период с 19 по 23 августа малоподвижная глубокая ложбина над Казахстаном заполнилась и начался западно-восточный перенос. В толще тропосферы появились волны малой амплитуды, быстро смещающиеся с запада на восток. В силу этого в северных частях гребней этих волн преобладала дивергенция высотных воздушных течений и динамическое падение наземного давления. В южных частях ложбин, находившихся над Казахстаном и Средней Азией, преобладала конвергенция и динамическое повышение наземного давления. В дивергирующих северных частях ложбин, расположенных над Скандинавией, формировалась отрицательная аномалия наземного давления. Южные конвергирующие части ложбины перемещались в южные районы умеренной зоны. Здесь происходило увеличение воздушной массы и, следовательно, формирование области положительной аномалии давления. Такова была макросиноптическая ситуация в Евразии перед Сусамырским землетрясением.

Что же касается региональных синоптических процессов, то здесь можно отметить, что в период с 13 по 18 августа на юге Кыргызстана преобладало малоградиентное поле пониженного давления. На высоте 500 гПа на район эпицентра происходил вынос теплого воздуха с Черного моря. В сутки землетрясения почти весь Казахстан и Средняя Азия находились под воздействием антициклона, который сформировался 13 августа над территорией Украины и передвигался на восток со скоростью 400 -



500 км/сут и 19 августа достиг Джекказганской области. Обращает на себя внимание увеличение его скорости после землетрясения почти в три раза.

Анализ метеорологических условий, наблюдавшихся до землетрясения и в сутки с этим явлением, проводился по данным наблюдений метеорологических станций, расположенных не далее 100 км от эпицентров. Координаты метеостанций и их высоты над уровнем моря представлены в табл. 2.

Таблица 2

Координаты ( $\phi, \lambda$ ) в градусах и высоты станций над уровнем моря ( $h$ ) в метрах

Станция	Координаты, градусы		h, метры
	$\phi$	$\lambda$	
Сусамыр	42,2	74,0	2088
Казарман	41,4	74,0	1269
Токтогул	41,8	72,9	983
Итагар	42,2	72,9	2011
Чаек	41,9	74,5	1651
Узген	40,8	73,3	1012
Арпа	40,8	74,9	3000
Кызылджар	40,2	74,3	2230

Многолетний ход атмосферного давления на всех перечисленных станциях имеет явно выраженные суточные колебания: рост в ночное время и падение в дневные сроки наблюдений. Однако, 13 - 15 августа на фоне суточного хода наблюдались перепады давления, которые можно объяснить прохождением частного циклона по югу Кыргызстана. За двое суток до подземного толчка, т.е. 17 августа на станции Сусамыр произошел статистически значимый на 1 %-ом уровне значимости перепад давления. Критерием значимости служил F - критерий Фишера. Табличный критерий для 1 %-го уровня значимости и степеней свободы  $n_1 = 80$  и  $n_2 = 8$  равен 2,1, а

рассчитанный - 2,7. Кроме того, 19 августа за четыре часа до землетрясения был нарушен суточный ход тенденции атмосферного давления нехарактерным ростом в предрассветные часы.

Резкое изменение давления зарегистрировано также на станции Казарманза 15 ч до явления. Рассчитанный критерий здесь превысил табличный с 95 %-ной доверительной вероятностью.

Вариация давления на других, близлежащих к эпицентру станциях, не были статистически значимыми. Однако, почти на каждой станции были отмечены нарушения в суточном ходе  $\delta P$ , которые заключались в смещении по времени экстремумов тенденции. Например, на ст. Токтогул минимальное значение тенденции приходится на 09 ч, максимальное - на 15 ч. За сутки до землетрясения, роста давления не наблюдалось ни в 15 ч, ни в последующие сроки. Лишь 19 августа в 03 ч, когда, согласно суточному ходу, давление на станции начинает падать, был отмечен его максимум, затем - резкое падение.

Изменение температурного режима поверхности Земли в периоды сейсмической активности впервые заметили китайские ученые в связи с сильнейшим Таншанским землетрясением 1976 г. Задолго (примерно за 5 суток) до него на обширной территории метеонаблюдения показали необычно большое повышение температуры почвы [6]. Термические аномалии в почве перед крупными землетрясениями были обнаружены и в результате дешифрирования космических снимков, сделанных в ИК - диапазоне. На основании космических съемок в [10] установлено, что максимумы среднегодовой активности ИК-аномалий, определяющих тепловой режим поверхности Земли, совпадает с максимальной годовой сейсмической активностью Тянь-Шаня. Коэффициент корреляции между этими параметрами равен 0,86, на доверительном уровне 0,95.

Тянь-Шань входит в состав региона, охватывающего Туранскую плиту и Центрально-Азиатскую складчатую структуру палеозойских геосинклиналей. Землетрясения, происходящие здесь, относятся к коровым. Для Памира-Гиндукушского региона, харак-

терны глубокофокусные землетрясения. При их возникновении отмечается статистически значимые коэффициенты корреляции между площадью ИК-аномалий и сейсмической активностью.

Температура воздуха и поверхности почвы на юге Кыргызстана перед Сусамырским землетрясением определялось прохождением частного циклона и приближением к региону передней части антициклона, вызвавшего в средней тропосфере потоки северо-западного направления. Связанный с этими барическими образованиями режим облачности и солнечной радиации вызвал незначительные колебания температуры воздуха, а в температуре поверхности почвы на некоторых станциях (Чаек, Сусамыр, Итагар, Кызылджар) даже ее понижение. Однако, 18 августа температура поверхности почвы почти на всех станциях в той или иной степени увеличилась. Наиболее значительный ее рост, на  $4,1^{\circ}\text{C}$ , за 12 часов наблюдался на ст. Чаек, расположенной примерно в 120 км на восток от эпицентра второго толчка.

В выявлении связи теплового режима почвы с сейсмической активностью наиболее показательным представляется использование температурных данных более глубоких слоев почвы. К сожалению, лишь на четырех метеостанциях проводились наблюдения за температурой по глубинно-вытяжным термометрам (Сусамыр, Узген, Арпа и Кызылджар). На рис. 3 приведен временной ход температуры почвы на глубинах по данным станций Арпа и Кызылджар, до и после Сусамырского землетрясения.

Повышение температуры на глубинах 2,4 м и 3,2 м отмечено на двух станциях Арпа и Кызылджар. На ст. Арпа рост температуры почвы на глубине 3,2 м начался 14 августа и продолжался после землетрясения. На ст. Кызылджар, начиная с 16 августа резко повысилась температура почвы, причем рост продолжался до 19 августа. Подобный рост температуры на глубинах, где непосредственное влияние солнечной радиации отсутствует и где почти не бывает резких перепадов в суточном и годовом ходе температур, дает основание предполагать наличие тепла, поступающего из более глубоких

слоев Земли и указывает на возможную связь между ростом температуры почвы на глубинах и сейсмической активностью.

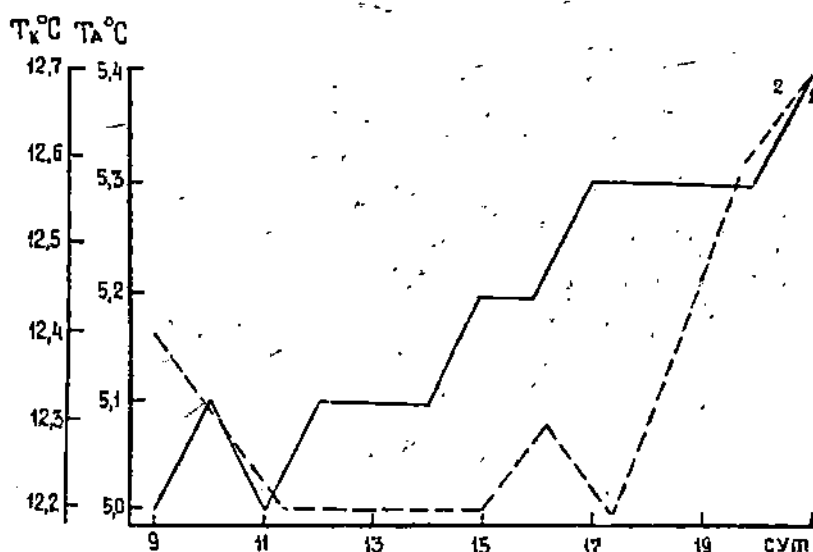


Рис. 3. Временной ход температуры почвы на глубине 3,2 м на станциях Арпа (1) и Кызылджар (2)

Что же касается особенностей, проявившихся в элементах и явлениях погоды перед Сусамырским землетрясением, то здесь следует отметить, что за 4-5 суток до него на всех исследуемых станциях наблюдалась облачная погода. Преобладала кучевая, кучево-дождевая и слоисто-кучевая облачность. На станциях Кызылджар, Итагар, Арпа, Сусамыр прошли ливневые дожди. Кроме того, на станции Итагар 14 августа, в течение двух часов отмечалась гроза. Чтобы подчеркнуть не случайное появление грозовых облаков в районе эпицентра Сусамырского землетрясения, проведем небольшой экскурс по работам, посвященным проблеме связи сейсмичности с погодными явлениями.

Так, в работе [4] сделана попытка по имеющимся каталогам [7,15] определить повторяемость,

сопровождаящих катастрофические землетрясения, метеорологических явлений и оценить их вероятность. Анализ исторических материалов показал, что чаще всего при сильном содрогании земли наблюдались ливни, град, ураганы, сильные бури. Повышенную повторяемость именно этих явлений перед сильными подземными толчками могут пояснить предположения авторов [1,2,5], заключающиеся в том, что спусковым механизмом подземных толчков могут служить электрические разряды между пластами различной электропроводности, иными словами, подземные молнии. Этим можно объяснить и свечение воздуха, наблюдаемое очевидцами перед крупными землетрясениями в районе эпицентров. Предполагается, что воздух начинает светиться в сильном электрическом поле, возникшем в атмосфере под действием электрических сил, скопившихся под землей. Было замечено, в частности, в Ташкенте, как светилась атмосфера, где через некоторое время содрогалась земля. Та же причина порождает и магнитные бури в районе подземного толчка за несколько суток до того, как оно произойдет. В [5] высказывается предположение, что уменьшение повторяемостей крупных землетрясений летом и весной является следствием влияния Солнца, разряжающего подземные конденсаторы с помощью атмосферы. Наэлектризованные недра по индукции вызывают в облаках заряды такой же величины, но противоположные по знаку. Поэтому, возможно появление грозových облаков и является сигналом подземных электрических разрядов, которые могут нарушить равновесие земной коры.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сказать, что крупные землетрясения в Памиро-Тянь-Шаньской тектонической зоне приурочены к быстрым изменениям физического состояния атмосферы, проявляющихся как в глобальных, так и в региональных и локальных ее характеристиках. Большая часть зарегистрированных в Казахстане и Средней Азии сильных подземных толчков возникали в период резкой перестройки барических и геопотенциальных полей. Результаты анализа подтверждают выводы, сделанные ранее о том, что круп-

ные землетрясения совпадают по времени со скачкообразным изменением давления в районе эпицентра.

Проведенный диагноз синоптико-метеорологической обстановки крупного Сусамырского землетрясения, произошедшего 19 августа 1990 г., позволил на независимом материале проверить и подтвердить достоверность ряда выводов, сделанных ранее.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амаш Ж. Живая планета Земля // Тектоника плит: путь к пониманию нашей планеты. - Юнеско. - N 1. - 1988. - С. 3-18.
2. Боровиков Л.И. Гроза и тектоника // Природа. - 1973. - N 1. - С. 90-94.
3. Гальперина А.А., Панова Е.Н., Чичасов Г.Н. Метеорологические факторы в диагнозе крупных землетрясений // Тр. КазНИГМИ. - 1992. - Вып. 111. - С. 157-183.
4. Гальперина А.А., Чичасов Г.Н. О метеорологических и геофизических условиях крупных землетрясений // Тр. КазНИГМИ. - 1992. - Вып. 111. - С. 183-191.
5. Друянов В.А. Загадочная биография Земли. - М.: Недра, 1989. - 159 с.
6. Мирошников Л.Д. Человек в мире геологических стихий. - Л.: Недра, 1989. - 192 с.
7. Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи. // Записки Русского географического общества по общей географии. - СПб.: - 1893. - Т. XXV. - 582 с.
8. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды Средняя Азия / Под ред. С.И. Инагамовой. - Л.: - Гидрометеоиздат, 1987. - Ч.2. Вып. 3. - 321 с.
9. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Казахстан / Под ред. М.А. Мурадова. - М.: Гидрометеоиздат, 1987. - Ч.2. Вып. 4. - 35 с.
10. Сальман А.Г., Шилин Б.В. Сейсмическая активность: взгляд из космоса // Геофизика. Природа, 1989. - N 12. - С. 14-21.
11. Сейсмическое районирование территории СССР //

- Межведомственный совет по сейсмологии и сейсмическому строительству при Президиуме АН КазССР. - М.: 1980. - 224 с.
12. Синоптические процессы Средней Азии / В.А. Бугаев, В.А. Джорджио, Е.М. Козик и др. - Ташкент: АН УзССР, 1957. - 477 с.
  13. Сытинский А.Д. О результатах опыта прогнозирования времени землетрясений и зависимости времени и силы землетрясений от атмосферных процессов // Физические процессы в очагах землетрясений. - М.: Наука, 1980. - С. 49-55.
  14. Сытинский А.Д. Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. - Л.: Гидрометеоздат, 1987. - 99 с.
  15. Collected articles on earthquakes in Xinjiang-Uigur autonomic region- Pekin: Seismological Bureau. - 1985. - 384 p.

Казахский научно-исследовательский  
гидрометеорологический институт

## ПАМИР - ТЯНЬ-ШАНЬ АЙМАҒЫНДАҒЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІКТІҢ АТМОСФЕРАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРМЕН БАЙЛАНЫСЫ ТУРАЛЫ

Е.Н. ПАНОВА

Геогр. ф. докт. Г.Н. ЧИЧАСОВ

Жер сілкінісі мен аймақтық атмосфералық процесс сипаттамалары арасындағы сипатындағы өзара байланыс зерттеледі. 1978-1990 жылдар аралығындағы Қазақстан мен Орта Азияда тіркелген ірі жер сілкіністерінің басым көпшілігі ауа қысымының шұғыл өзгеру кезеңінде болатындығы анықталып отыр.