

УДК 550.344

БАРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ И СЕЙСМИЧНОСТЬ В ПЕРИОД ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВИЗАЦИИ НА ГОРНОМ АЛТАЕ

© 2015 г. О.И. Аптикаева

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Анализируются вариации барического поля, зарегистрированные гидрометеостанциями Горного Алтая в период сейсмической активизации региона, связанной с Алтайским (Чуйским) землетрясением (23.08.2003 г., $M=7.5$). Обнаружено, что ритмическая структура барического поля меняется как в пространстве (в зависимости от положения относительно геодинамически активного района), так и во времени. На периферии зоны активных тектонических разломов в вариациях поля хорошо выражен годовой ритм. По мере приближения к зоне разломов амплитуда годового ритма уменьшается. Ритмическая структура вариаций атмосферного давления вблизи очага землетрясения, наблюдаемая в течение нескольких месяцев до землетрясения, заметно отличается от структуры вариаций после него. В период снижения сейсмической активности, отмечаемой после названного землетрясения, в вариациях атмосферного давления возрастает доля периодических составляющих.

Предполагается наличие связи между вариациями атмосферного давления и сейсмической энергией, высвобождаемой в районе исследований. Приводятся примеры, когда за местными или региональными возмущениями барического поля следуют сейсмические события соответственно местного или регионального масштаба.

Ключевые слова: атмосферные и геодинамические процессы, мониторинг, экология, ритмы, вейвлет-анализ.

Введение

Предлагаемая работа посвящена анализу экспериментальных данных, характеризующих вариации барического поля и сейсмичности на Горном Алтае. Это направление привлекает интерес многочисленных исследователей, благодаря чему база данных, позволяющих рассматривать геофизические поля как фактор, объединяющий внутренние и внешние геосферы в единую саморегулирующуюся систему, постоянно пополняется [Взаимодействие..., 1996; Адушкин и др., 2006]. Геофизические поля являются источником информации о свойствах и структуре геосфер; в частности, их пространственно-временные вариации могут привлекаться для выявления очаговых зон и предвестников землетрясений [Соболев, 1993].

Не одно десятилетие изучаются и вариации метеорологических параметров перед сильными землетрясениями (см., например, [Милькис, 1983]). При этом особое внимание уделяется термобарическим полям, планетарные и локальные перестройки которых выявлены перед сильными землетрясениями в разных регионах планеты. Так, перед Чилийскими землетрясениями 21–22.05.1960 г. ($M=7.9$; 8.5) было зафиксировано сильное возмущение атмосферы, при котором давление в западном полушарии выросло, а в восточном – упало [Сытинский, 1979]. По мнению автора названной работы, в результате своеобразной “перекачки” массы атмосферы из одного полушария в другое нарушилось равновесие в земной коре. Рассчитанная энергия этого возмущения по порядку величины соответствует значению случайных флуктуаций угловой скорости Земли (нутаии), из чего следует, что атмосферные процессы могут приводить к изменению самой скорости.

Большое внимание уделяется также изучению региональных перестроек барических полей. В работе [Сытинский, 1979] на примере Курило-Камчатской зоны показано, что землетрясения можно соотносить с моментами резких (в течение одних суток) перестроек поля атмосферного давления, в то время как плавные перестройки продолжительностью более 3–4 сут в вариациях сейсмичности не проявляются. Подобные атмосферные эффекты наблюдались перед рядом сильных событий, в том числе перед Ташкентским (26.04.1966 г., $M=5.2$), Газлийским (08.04.1976 г., $M=7.0$) и Румынским (04.03.1977 г., $M=7.2$) землетрясениями. В более поздних работах [Бондур и др., 2007] сообщается об обнаружении растянутых во времени атмосферных эффектов, связанных с перестройкой термобарического поля. За несколько дней до Суматранского землетрясения (26.12.2004 г., $M\approx 9$) в области его подготовки были прослежены вариации полного электронного содержания ионосферы TEC (от англоязычного термина *Total Electron Content*). Авторы названной работы полагают, что одним из источников вариаций TEC может быть градиент атмосферного давления. Обращает на себя внимание то, что за 30 дней до землетрясения сформировалось несколько областей максимальных вариаций TEC , к зоне пересечения которых оказался приуроченным эпицентр сильного события.

Аналогичные связи наблюдаются и на микроуровне. Как показано в работах [Любушин, Малугин, 1993; Дубров и др., 1998], микровариации атмосферного давления (~15–30 мбар) в диапазоне периодов от 3 мин до 7 сут сопровождаются синхронными изменением амплитуд деформаций земной поверхности (~0.03–0.4 мкм и 0.1–0.6 мбар) с теми же периодами.

В настоящей работе приводятся результаты анализа рядов атмосферного давления, полученных на гидрометеостанциях Горного Алтая в период, включающий Алтайское (Чуйское) землетрясение (23.08. 2003 г., $M=7.5$), в сопоставлении с геодинамической ситуацией в регионе. Изучение вариаций атмосферного давления в сейсмоопасных зонах представляется полезным для моделирования напряженно-деформированного состояния земной коры в условиях небольших внешних воздействий.

Анализировались ряды метеорологических параметров с дискретизацией 3 или 6 ч, полученные в 2000–2012 гг. на гидрометеостанциях Горного Алтая (рис. 1, таблица) [<http://meteo.infospace.ru>]. Необходимая сейсмологическая информация об исследуемом регионе за 2003–2012 гг. взята из каталогов землетрясений Алтая и Саян, опубликованных в ежегодниках “Землетрясения России” [2006–2014].

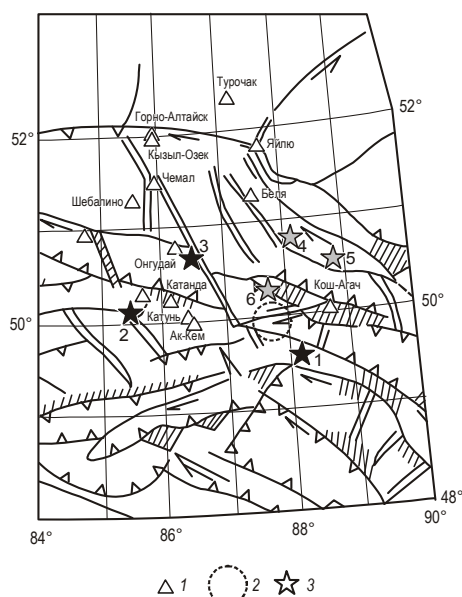


Рис. 1. Схема района исследований (основа – карта разрывных нарушений и приразломных структур по [<http://www-sbras.nsc.ru/win/sbras/rep/rep2001/nz/z2/z2.html>])

1 – гидрометеостанции, данные которых анализируются в настоящей работе; 2 – эпицентр Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г. ($M=7.3$); 3 – пункты наблюдений геодезической сети, в которых зарегистрированы деформации сжатия (черные звездочки) и растяжения (серые) по [Гольдин и др., 2005]

Координаты и периоды функционирования гидрометеостанций Горного Алтая

Название	Широта	Долгота	<i>h</i> , м	Период наблюдений
Ак-Кем	49° 55'	86° 32'	2056	09.03.2000–15.06.2004 гг.
Беля	51° 15'	87° 29'	557	09.03.2000–15.06.2004 гг.
Горно-Алтайск	51° 58'	86° 00'	286	09.03.2000–15.06.2004 гг.
Катанда	50° 10'	86° 10'	949	09.03.2000–15.06.2004 гг.
Катунь	49° 59'	86° 25'	2596	09.03.2000–15.06.2004 гг.
Кош-Агач	50° 01'	88° 41'	1760	09.03.2000–15.06.2004 гг. 25.02.2009 г. – наст. время
Кызыл-Озек	51° 54'	86° 00'	326	09.03.2000–15.06.2004 гг.
Онгудай	50° 46'	86° 08'	833	09.03.2000–15.06.2004 гг.
Турочак	52° 16'	87° 10'	327	26.11.1998 г. – наст. время
Усть-Кан	50° 56'	84° 46'	1037	09.03.2000–15.06.2004 гг.
Усть-Кокса	50° 17'	85° 37'	978	09.03.2000–15.06.2004 гг. 25.02.2009 г. – наст. время
Чемал	51° 26'	86° 00'	420	09.03.2000 г. – наст. время
Шебалино	51° 15'	85° 40'	860	09.03.2000–15.06.2004 гг.
Яйлю	51° 46'	87° 36'	480	09.03.2000–15.06.2004 гг. 25.02.2009 г. – наст. время

Динамика атмосферного давления, регистрируемого гидрометеостанциями Горного Алтая до и после Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г.

Подробный анализ вариаций метеопараметров за период с 2000 по 2004 гг. представлен в работе [Антикаева, Шитов, 2013], в которой показана территориальная приуроченность различных по характеру вариаций атмосферного давления в пределах Горного Алтая. В частности, прослежена тенденция роста амплитуды годового ритма в рядах атмосферного давления по мере удаления от зоны активных разломов. Это хорошо видно на рис. 2, а, где представлены ряды для станций Турочак, Горно-Алтайск, Кызыл-Озек, расположенных в северной части исследуемого региона на значительном удалении от активных разломов (см. рис. 1). Поскольку характер рядов на названных станциях практически одинаков, то приводятся данные только станции Турочак, позволяющие наблюдать хорошо выраженный годовой ритм.

Иная картина наблюдается на записях станции Чемал (рис. 2, б), расположенной вблизи тектонического узла (см. рис. 1) – в январе–феврале 2002 г. происходит резкое изменение динамики атмосферного давления. В январе–феврале 2002 г. отмечено аномальное падение атмосферного давления, и до этого времени примерно с августа 2000 г. в его вариациях на фоне годового ритма присутствовала существенная доля высокочастотных. На протяжении всего периода амплитуда годового ритма существенно не менялась.

На станциях Беля, Яйлю, Усть-Кан и Шебалино, как и на станции Чемал, от начала анализируемого периода вплоть до момента аномального падения атмосферного давления в его вариациях на фоне годового ритма присутствовала заметная доля высокочастотных (рис. 2, в; ввиду сходства рядов названных станций, приведен только ряд для станции Беля). Однако в отличие от станции Чемал эта доля была менее существенной. Дальнейшие вариации давления характеризуются меньшим разбросом и более четко выраженным годовым ритмом.

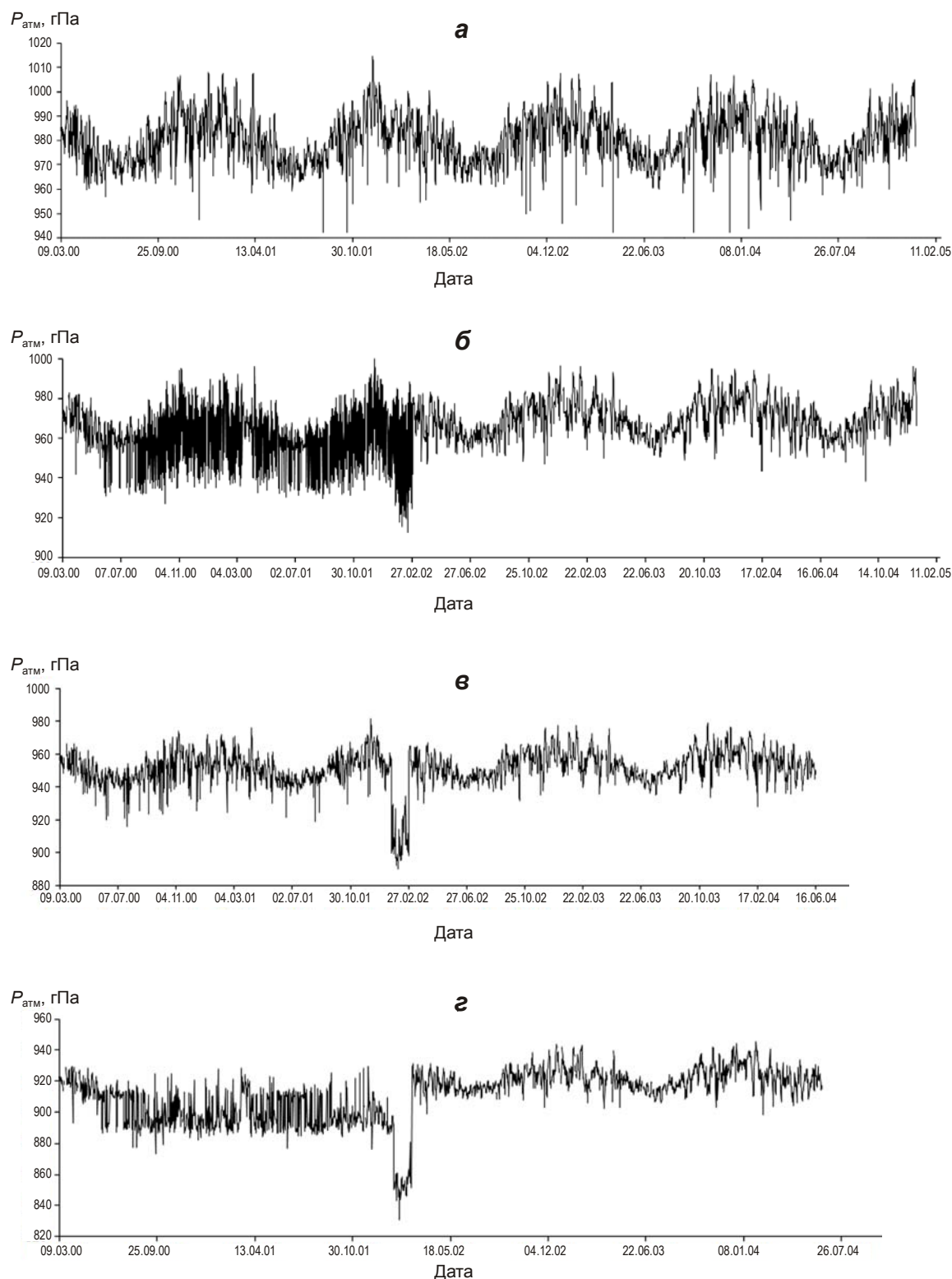


Рис. 2. Динамика атмосферного давления на гидрометеостанциях Турочак, Горно-Алтайск, Кызыл-Озек (*a*), Чемал (*б*), Бея, Яйлю, Усть-Кан, Шебалино (*в*), Онгудай, Усть-Кокса, Катанда (*г*). Пояснения см. в тексте

На станциях Онгудай, Усть-Кокса и Катанда (рис. 2, *г*; приведены данные только станции Онгудай) в начальный период наблюдений годовой ритм в вариациях атмосферного давления отсутствует. После аномалии января–февраля 2002 г. давление

стабилизировалось на более высоком уровне, чем до нее, и в вариациях давления появился годовой ритм. Отметим, что на всех станциях, на которых была зафиксирована аномалия начала 2002 г., резкое падение и восстановление атмосферного давления происходило практически синхронно.

Наблюдения, выполненные рядом исследователей [Любушин, Малугин, 1993; Дубров и др., 1998], свидетельствуют, что вариации атмосферного давления сопровождаются синхронными изменениями амплитуд деформаций земной поверхности; при этом возрастанию давления в большинстве случаев соответствует сжатие земной поверхности. Рассматриваемая нами выше аномалия барического поля представляет собой резкое, произошедшее в течение нескольких суток, падение атмосферного давления, которое, возможно, связано с деформациями растяжения, а последовавший примерно через 45 суток такой же резкий рост давления – с деформациями сжатия. Средний уровень атмосферного давления в течение двух лет, следовавших за аномалией 2002 г., несколько выше, чем до нее.

Следуя вышеизложенным представлениям, можно предположить, что в январе–феврале 2002 г. на территории, где расположены станции Онгудай, Усть-Кокса и Катанда, возросли деформации сжатия, сохранившись на том же уровне и после Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г.

По данным геодезического мониторинга, в эпоху 2000–2003 гг. в очаговой области Алтайского землетрясения скорости горизонтальных движений земной коры достигали 6 мм/год. Максимальные деформации концентрировались на концах разрыва землетрясения, при этом деформации сжатия имели место как раз в местах локализации станций Онгудай, Усть-Кокса и Катанда (см. рис. 1) [Гольдин и др., 2005].

Являются ли эти факты свидетельством взаимообусловленности геодинамических и атмосферных процессов, на данном этапе сказать трудно, но отнести их к разряду “требующих дополнительного изучения” стоит.

На следующем этапе анализа были вычислены коэффициенты взаимной корреляции рядов атмосферного давления на станции Горно-Алтайск в сопоставлении с рядами на остальных станциях исследуемого региона (далее – скользящий коэффициент корреляции R) в пределах скользящего временного окна (окно анализа – 5 % от длины ряда); соответствующие графики приведены на рис. 3. Надо отметить, что для ряда станций обнаружилось лишь незначительные расхождения между графиками R , в связи с чем такие станции были объединены в три группы, для каждой из которых приводится один (сводный) график коэффициента R (рис. 3, б, в, д).

Графики для станций, расположенных на севере района, в первом приближении могут быть разделены во времени на две части. В течение 2000–2001 гг. коэффициент R испытывает существенные колебания, меняясь от 0.3 до 1.0. По мере приближения к январю 2002 г. вариации атмосферного давления на этих станциях становятся все более синхронными. В январе–феврале 2002 г. происходит кратковременная десинхронизация процесса (на станциях Бея и Яйлю атмосферные процессы даже стали развиваться в противофазе), после чего амплитуда колебания коэффициента R уменьшилась, а его значения приблизились к единице. Отметим, что большинство аномалий R в рядах северных станций совпадают по времени. В момент возникновения Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г. существенных аномалий R не наблюдалось.

Ни с одним из упомянутых случаев не совпадает поведение R на станции Турочак (см. рис. 3, з). Имеющиеся здесь аномалии по времени не совпадают с аномалиями других рядов, а моменту возникновения Алтайского землетрясения предшествует десинхронизация атмосферных процессов на станциях Горно-Алтайск и Турочак.

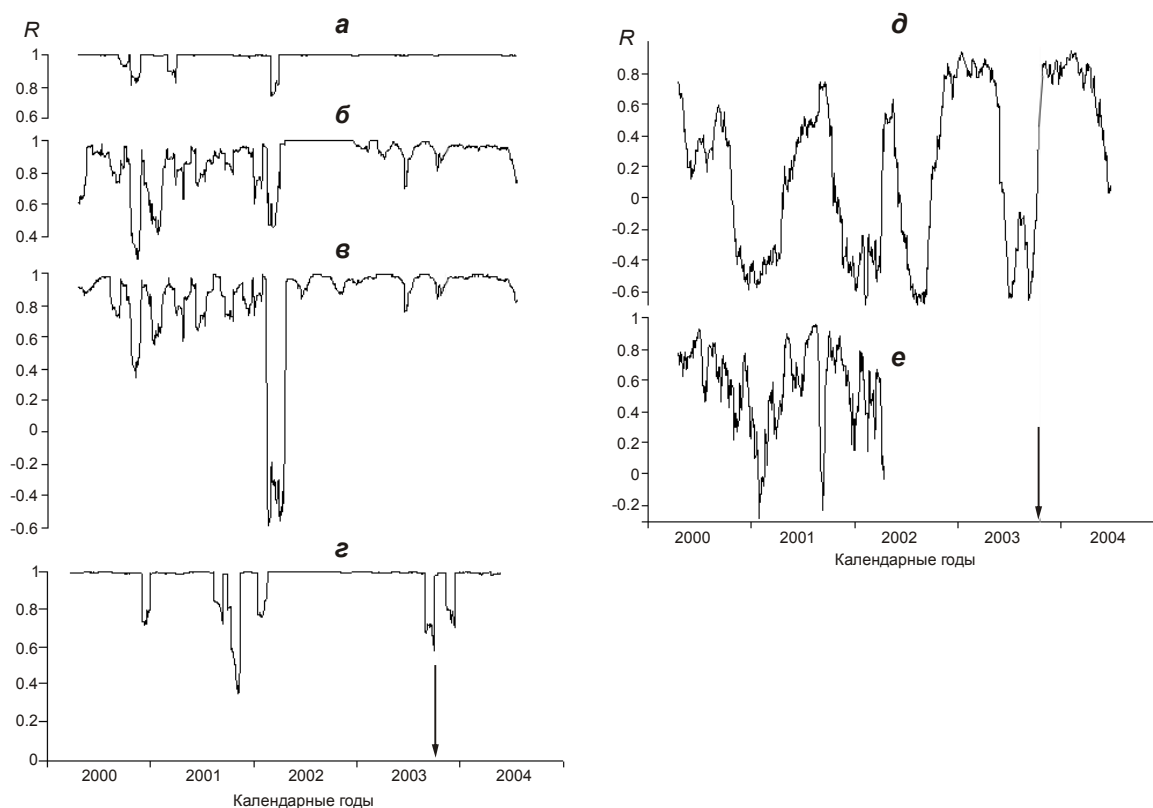


Рис. 3. Графики скользящего коэффициента корреляции рядов атмосферного давления на станции Горно-Алтайск и других станциях Горного Алтая: *a* – Кызыл-Озек; *б* – сводный график для станций Чемал и Шебалино; *в* – сводный график для станций Бея и Яйлю; *г* – Турочак; *д* – сводный график для станций Онгудай, Усть-Кокса, Катанда; *е* – Кош-Агач. Стрелкой на горизонтальных осях отмечен момент Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г.

Поведение R на станциях Онгудай, Усть-Кокса, Катанда (рис. 3, *д*), расположенных ближе к очагу готовящегося землетрясения, заметно отличается от рассмотренных выше случаев. Периоды синхронного изменения атмосферного давления на них и на станции Горно-Алтайск сменяются периодами изменений в противофазе. В такие периоды рост давления в районе станции Горно-Алтайск сопровождается его уменьшением на станциях Онгудай, Усть-Кокса, Катанда, т.е. в терминах А.Д. Сытинского происходит “перекачка” массы атмосферы в пределах геодинамически активной области. Алтайское (Чуйское) землетрясение 2003 г. приходится как раз на один из таких периодов.

Наибольший интерес представляет динамика атмосферного давления непосредственно в зоне очага Алтайского землетрясения, регистрируемая на станциях Кош-Агач, Катунь и Ак-Кем. Но, к сожалению, данные о вариациях атмосферного давления после его резкого падения в январе–феврале 2002 г. на первой из них отсутствуют вплоть до 2009 г., а на остальных их нет вовсе.

Таким образом, аномалия атмосферного давления, отмечаемая в январе–феврале 2002 г., делит рассмотренный период наблюдений на две части с принципиально разной динамикой. Начиная с этого момента и до момента возникновения сильного события барическое поле на севере района ведет себя как единое целое – атмосферное давление на станциях, расположенных на севере района (Горно-Алтайск, Кызыл-Озек, Чемал, Шебалино, Бея, Яйлю), изменяется практически синхронно ($R \sim 0.7-1.0$). Вблизи очага Алтайского землетрясения барическое поле неустойчиво в течение всего периода.

Примечательно, что в тот же период, в январе–феврале 2002 г., изменилась динамика сейсмичности в пределах района исследований – уменьшение выделяемой сейсмической энергии сменилось ее ростом (рис. 4).

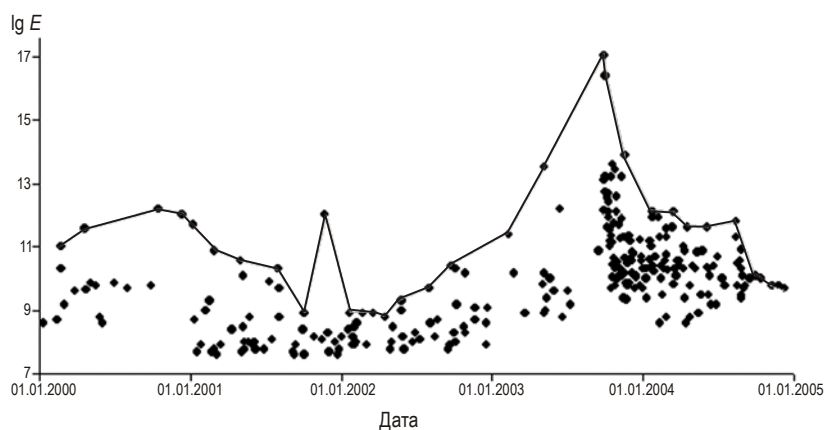


Рис. 4. Динамика выделенной сейсмической энергии в пределах района исследований

В рамках проведенного анализа остается вопрос – существуют ли более или менее продолжительные временные интервалы, в пределах которых барические поля в геодинамически активном районе и на его периферии варьируют синхронно?

Для ответа на поставленный выше вопрос рассмотрим динамику атмосферного давления за более длительный период. В анализируемой базе данных непрерывные ряды метеопараметров за 2000–2012 гг. есть только для двух станций – Чемал и Турочак. На рис. 5, а показан график скользящего коэффициента корреляции рядов атмосферного давления, зарегистрированного на них (окно анализа составляет 5 % от длины ряда). Можно видеть, что продолжительные периоды синхронных вариаций атмосферного давления на этих станциях сменяются периодами их рассогласованного поведения.

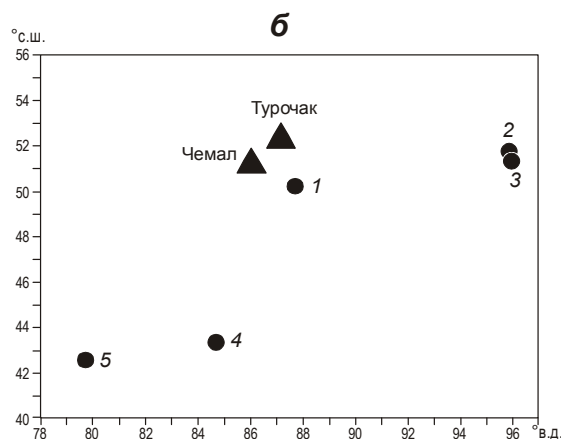
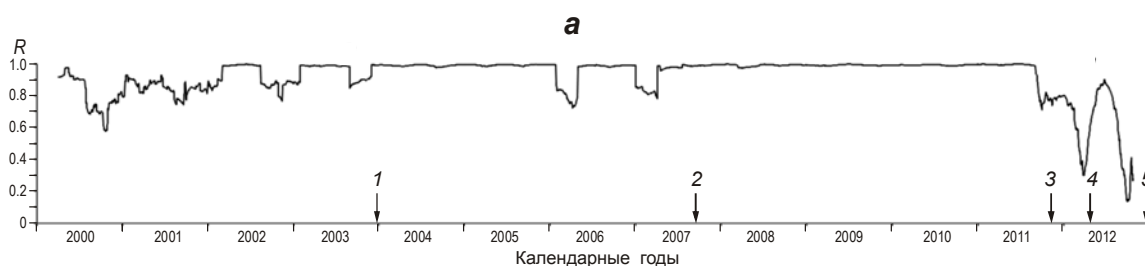


Рис. 5. График скользящего коэффициента корреляции рядов атмосферного давления в 2000–2012 гг. на станциях Турочак и Чемал (а); схема расположения станций (треугольники) и эпицентров сильнейших землетрясений района того же периода (б). Стрелками на горизонтальной оси на а отмечены моменты возникновения землетрясений 1–5. Пояснения см. в тексте

На горизонтальной оси рис. 5, *а* стрелками отмечены моменты пяти сильных событий, произошедших в рассматриваемый период на Алтае и в смежных с ним районах: 27.09.2003 г. с $M=7.3$ (1); 27.12.2011 г. с $M=6.6$ (2); 26.02.2012 г. с $M=6.7$ (3); 30.06.2012 г. с $M=6.7$ (4) и 27.09.2013 г. с $M=7.3$ (5). Местоположение очагов этих событий обозначено залитыми кружками на рис. 5, *б*, где приведена также схема размещения гидрометеостанций региона (треугольники, большие залитые треугольники – станции Турочак и Чемал).

Отметим, что наиболее заметные аномалии (см. рис. 5, *а*) предшествуют самым сильным событиям, произошедшим на Алтае в анализируемый период. Аномалия перед ближайшим к названным станциям Алтайским (Чуйским) землетрясением 2003 г. длилась более 3 лет, но и серия более далеких землетрясений 2011–2013 гг. отмечена продолжительной аномалией большой амплитуды.

Несмотря на то, что ряды атмосферного давления, зарегистрированного на станциях Яйлю, Усть-Кокса и Кош-Агач, прерываются на несколько лет, представляется возможным сделать некоторые замечания о динамике атмосферного давления в пределах геодинамически активного района. По сравнению с рассмотренными выше случаями изрезанность кривых R для этих станций значительно больше, а его абсолютные значения не столь велики. Тем не менее, и на этом фоне нарушение синхронности изменения атмосферного давления перед упомянутыми выше сильными событиями все же вполне очевидны. Детальный анализ кривых R обнаруживает подобные соответствия и для более слабых событий, локализованных в непосредственной близости к станциям. Следует отметить, что в этом случае не все события удается увязать с аномальными вариациями коэффициента корреляции, более того, поведение R не всегда однозначно – перед землетрясениями наблюдается как нарушение синхронности вариаций атмосферного давления на сопоставляемых станциях, так и развитие атмосферных процессов в противофазе. Не удалось также обнаружить и устойчивой связи величины аномалии R с энергией готовящегося события и расстоянием до него.

В этой связи отметим, что при синхронных наблюдениях за деформациями земной коры и вариациями атмосферного давления [Любушин и др., 1992] выявлена анизотропия деформаций, когда в одном направлении атмосферное давление влияет на деформацию значительно сильнее, чем в прочих. Не исключено, что наблюдаемые нами эффекты имеют ту же природу и могут быть связаны с пространственной ориентацией блоков и ослабленных зон в изучаемом районе.

Обсуждение результатов

Приведенные выше рис. 2–5 отражают характер многочисленных перестроек барического поля на территории Горного Алтая за период 2000–2012 гг. Очевидно, что ритмическая структура барического поля варьирует и в пространстве (в зависимости от положения ГМС относительно геодинамически активного района), и во времени. Так, для станции Турочак, расположенной на периферии геодинамически активной зоны, характерно постоянство структуры рядов атмосферного давления в течение всего периода наблюдений (рис. 6, *а, слева*), о чем можно судить по графику структурной функции. Амплитуда годового ритма, например, в течение всего периода наблюдений практически не изменилась. Кстати, для названной станции в течение рассматриваемого периода характерно также постоянство средних значений летних и зимних температур [Антикаева, Шитов, 2013].

На гидрометеостанциях, расположенных вблизи очаговой зоны Алтайского (Чуйского) землетрясения 2003 г., ритмическая структура рядов метеопараметров меняется во времени. После этого землетрясения в вариациях атмосферного давления на станциях

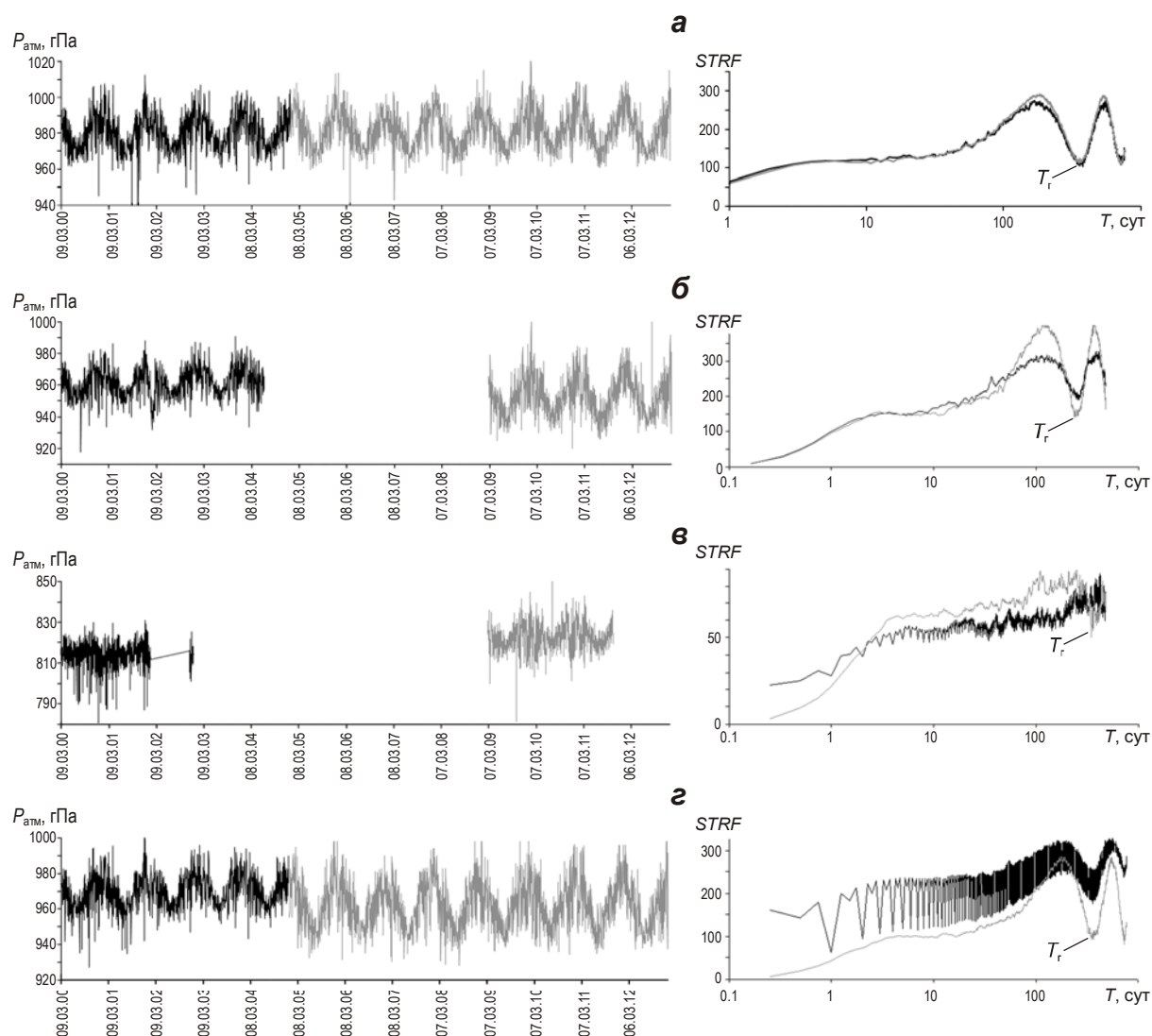


Рис. 6. Вариации атмосферного давления (слева) и их структурная функция *STRF* (справа) на станциях Турочак (а), Яйлю (б), Кош-Агач (в), Чемал (з). Наблюдения 2000–2012 гг. Тон графиков структурных функций соответствует тону временных рядов, для которых они рассчитывались. T_r – годового ритм

Яйлю и Чемал (рис. 6, б, з, слева) выросла доля периодических составляющих и существенно увеличилась по сравнению с 2000–2002 гг. амплитуда годового ритма. В то же время в вариациях атмосферного давления на станции Кош-Агач (рис. 6, в, слева) сохраняется достаточно высокая доля высокочастотных колебаний. Отметим, что в окрестностях последней в 2009–2012 гг. сохраняется и высокий уровень выделенной сейсмической энергии.

Аналогичные примеры существенного роста выделенной сейсмической энергии, сопровождаемого уменьшением доли периодических составляющих в вариациях метеопараметров (температуры и влажности, например), когда заметно ослабевают даже такие устойчивые ритмы, как суточный, приводятся в работе [Антикаева, Шитов, 2013]. В той же работе вариации метеопараметров на территории Горного Алтая подробно проанализированы на предмет поиска взаимосвязей между атмосферными и геодинамическими процессами.

При совместном анализе динамики метеопараметров и некоторых гео- и космофизических факторов была обнаружена синхронность их поведения. Вейвлет-анализ рядов этих параметров выявил наличие в процессах общих периодичностей, что свидетельствует о возможной взаимосвязи между ними.

По мнению ряда авторов [Сидоренков, Гамбурцев, 2013; Сидоренков, Сумерова, Пономарев, 2013], именно приливные колебания скорости вращения Земли по механизму синхронизации формируют ритмическую структуру атмосферной циркуляции. Представление о неравномерности суточного вращения Земли дает рис. 7, а; о вариациях ритмической структуры приведенного ряда можно судить по вейвлет-диаграммам для разных диапазонов периодов, приводимым на рис. 7, б.

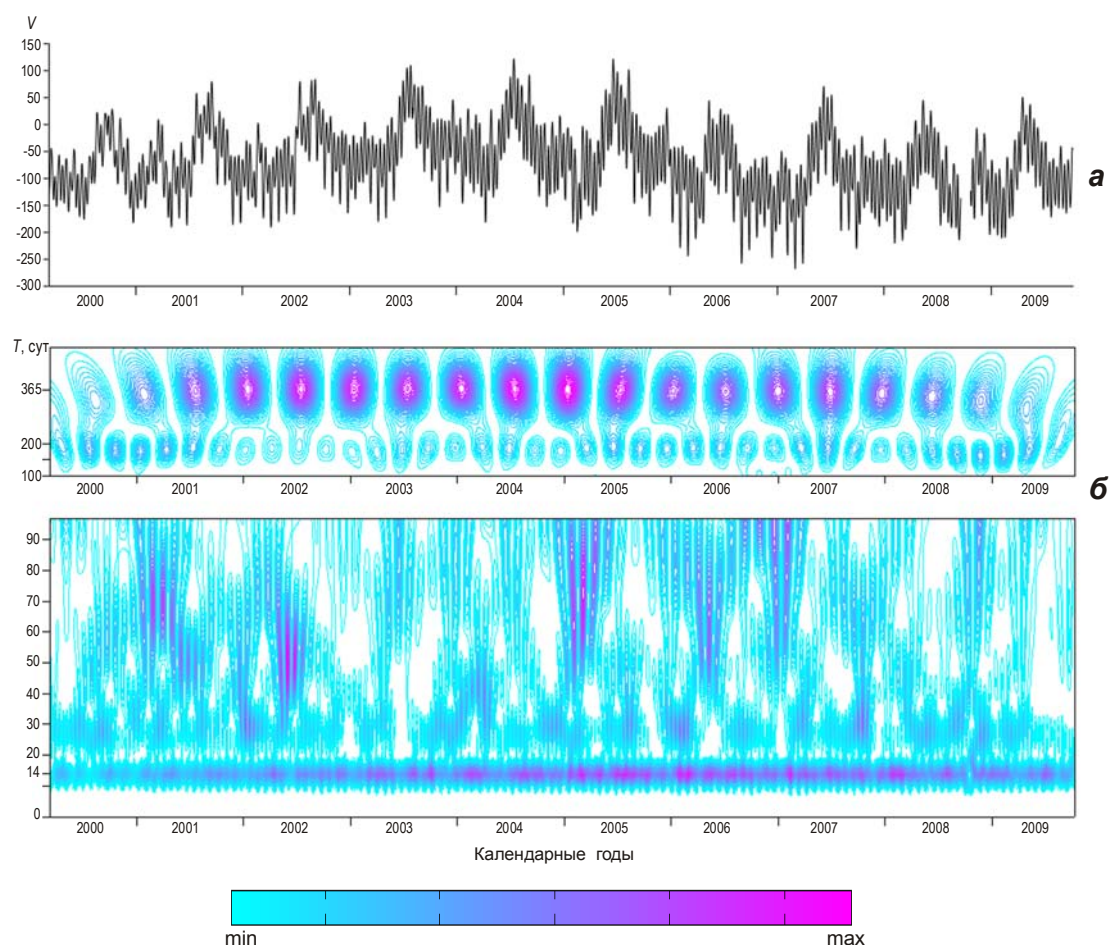


Рис. 7. Вариации скорости вращения Земли (с суточной дискретизацией, в относительных единицах десятого знака после запятой) по [Сидоренков, Сумерова, Пономарев, 2013] (а) и соответствующие им вейвлет-диаграммы (б)

Обращает на себя внимание то, что амплитуды присущих вариациям скорости вращения Земли ритмов существенно варьируют во времени. Для наиболее интересного в контексте данной работы временного интервала 2000–2002 гг. характерно ослабление полугодового ритма и усиления годового. В то же время в области более коротких периодов на фоне ослабления двухнедельного ритма отмечалось нарушение стационарности процесса. Как показывают наблюдения, перестройка ритмической структуры с дрейфом энергии в сторону длинных периодов в вариациях геодинимических параметров характерна для временных интервалов, предшествующих сильным землетрясениям [Антикаева, 2009].

К сожалению, мы не располагаем достаточным объемом данных, позволяющим напрямую ассоциировать описанные в данной работе возмущения барического поля с вариациями деформаций и напряжений, а также с влиянием иных гео- и космофизических факторов. Мы можем говорить только о наличии фактов, допускающих их взаимную обусловленность.

В ряду многочисленных экспериментальных данных, приводимых другими авторами, описанные в настоящей работе явления можно отнести к фактам, подтверждающим высказанное в [Бондур и др., 2007] замечание о том, что тектонические землетрясения и крупномасштабные изменения атмосферного давления развиваются по собственным законам, но, вполне вероятно, что с некоторого момента может начать проявляться их взаимная обусловленность.

Выводы

В результате анализа данных о вариациях барического поля на Горном Алтае в период сейсмической активизации, связанной с Алтайским (Чуйским) землетрясением 2003 г., обнаружено следующее.

1. Ритмическая структура барического поля в рассматриваемом районе варьирует как в пространстве, так и во времени. На периферии зоны активных тектонических разломов в вариациях атмосферного давления хорошо выражен годовой ритм, амплитуда которого по мере приближения к зоне активных разломов годового ритма уменьшается. После Алтайского землетрясения в вариациях атмосферного давления выросла доля периодических составляющих.

2. Максимальные аномалии в вариациях атмосферного давления на гидрометеостанциях, расположенных в геодинамически активном районе Горного Алтая, совпадают по времени с изменением динамики выделяемой здесь сейсмической энергии. Вслед за местными или региональными возмущениями барического поля, в большинстве своем, следуют сейсмические события соответственно местного или регионального масштаба.

Литература

- Адушкин В.В., Спивак А.А., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Соловьев С.П. Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе кора–атмосфера // Физика Земли. 2006. № 7. С.34–51.
- Антикаева О.И. Вариации структуры поля поглощения поперечных волн как пример отклика системы на внешние воздействия // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 4. М.: Светоч Плюс, 2009. С.96–114.
- Антикаева О.И., Шитов А.В. Погода на Горном Алтае до и после Чуйского землетрясения 2003 г. // Пространство и время. 2013. № 3. С.163–170.
- Бондур В.Г., Гарагаш И.А., Гохберг М.Б., Лапшин В.М., Нечаев Ю.В., Стеблов Г.М., Шалимов С.Л. Геомеханические модели и ионосферные вариации для крупнейших землетрясений при слабом воздействии градиентов атмосферного давления // Докл. РАН. 2007. Т. 414, № 4. С.540–543.
- Взаимодействие в системе литосфера–гидросфера–атмосфера / Ред. Л.Н. Рыкунов, Е.П. Анисимова, Н.К. Шелковников. М.: Недра, 1996. 287 с.
- Гольдин С.В., Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г. Поле смещений земной поверхности в зоне Чуйского землетрясения, Горный Алтай // Докл. РАН. 2005. Т. 405, № 6. С.804–809.
- Дубров М.Н., Латынина Л.А., Матвеев Р.Ф., Пономарев А.В. Наблюдение сверхдлинных деформационных колебаний земной поверхности, связанных с малыми вариациями атмосферного давления // Физика Земли. 1998. № 12. С.22–30.

- Землетрясения России в 2003 году. Обнинск, 2006. 112 с.
 Землетрясения России в 2004 году. Обнинск, 2007. 140 с.
 Землетрясения России в 2005 году. Обнинск, 2007. 180 с.
 Землетрясения России в 2006 году. Обнинск, 2009. 216 с.
 Землетрясения России в 2007 году. Обнинск, 2009. 220 с.
 Землетрясения России в 2008 году. Обнинск, 2010. 224 с.
 Землетрясения России в 2009 году. Обнинск, 2011. 208 с.
 Землетрясения России в 2010 году. Обнинск, 2012. 208 с.
 Землетрясения России в 2011 году. Обнинск, 2013. 208 с.
 Землетрясения России в 2012 году. Обнинск, 2014. 224 с.
 Любушин А.А., Малугин В.А. Статистический анализ отклика уровня подземных вод на вариации атмосферного давления // Физика Земли. 1993. № 12. С.74–80.
 Любушин А.А., Осика В.И., Пчелинцев В.А., Петухова Л.С. Анализ отклика деформаций земной коры на вариации атмосферного давления // Физика Земли. 1992. № 2. С.81–89.
 Милькис М.Р. Гидрогеологические и гидрометеорологические предвестники Ашхабадского катастрофического землетрясения // Докл. АН СССР. 1983. Т. 273, № 5. С.1061–1094.
 Сидоренков Н.С., Гамбурцев А.Г. Планетарные атмосферные процессы. Солнечная и геомагнитная активность // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 5. М.: Янус-К, 2013. С.45–52.
 Сидоренков Н.С., Сумерова К.А., Пономарев М.В. Астрономические причины аномально жаркого лета 2010 года на европейской территории России // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 5. М.: Янус-К, 2013. С.100–110.
 Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 312 с.
 Сытинский А.Д. Об одном солнечно-атмосферном эффекте во время сильных землетрясений // Докл. АН СССР. 1979. Т. 245, № 6. С.1337–1340.

Сведения об авторе

АПТИКАЕВА Ольга Ивановна – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, Москва Д-242, ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1. Тел.: 8(499) 254-24-05. E-mail: aptikaevaoui@mail.ru

PRESSURE FIELD AND SEISMICITY DURING GEODYNAMIC ACTIVATION IN THE ALTAI MOUNTAINS

O. I. Aptikaeva

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. In this paper we analyze variations of atmospheric pressure, recorded by hydrometeorostations in the Altai Mountains during geodynamic activation of the region due to the severe Altai earthquake (September 27, 2003, $M=7.5$). We found that the rhythmic structure of the pressure field varies in space (depending on the position relative to the geodynamic active area) and in time. The annual rhythm in the time series of atmospheric pressure prevails at the periphery of the active tectonic zone. Its amplitude decreases in the zones of active faults. The rhythmic structure of variations of the atmospheric pressure observed several months before the Altai earthquake near its focal zone differs significantly from the structure of variations after the earthquake. After the Altai earthquake, when seismic activity decreased, the proportion of periodic components in the variations of the atmospheric pressure increases. We suppose that there is a relationship between variations in atmospheric pressure and released seismic energy. We give examples, which show that local or regional perturbations of the pressure field are followed by local or regional seismic events respectively.

Keywords: atmospheric and geodynamic processes, monitoring, ecology, the rhythms, the wavelet analysis.