

В.Н. Боков

О СВЯЗИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ И СЕЙСМИЧНОСТИ В ДИАПАЗОНЕ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

V.N. Bokov

CONNECTION BETWEEN ATMOSPHERIC CIRCULATION AND SEISMICITY IN A SEASONAL VARIABILITY RANGE

Внутригодовая изменчивость землетрясений обусловлена внутригодовой изменчивостью атмосферной циркуляции. Максимальная изменчивость атмосферной циркуляции в весенние и осенние периоды совпадает с максимальным количеством случаев сильных землетрясений и имеет статистически значимый коэффициент корреляции. Основной причиной внутригодовой изменчивости землетрясений являются сезонные смещения климатических фронтов относительно тектонических разломов от зимы к лету, и наоборот. Воздушные массы создают дополнительные нагрузки на земную кору, усиливая в ней экзогенные процессы и инициируя сейсмические явления.

Ключевые слова: сезонная, внутригодовая изменчивость, атмосферная циркуляция, землетрясения.

Interannual variability of earthquakes is caused by interannual variability of atmospheric circulation. The maximum variability of atmospheric circulation during the spring and autumn periods coincides with a maximum quantity of cases of strong earthquakes and has statistically significant factor of correlation. A principal cause of interannual variability of earthquakes is the seasonal displacement of climatic fronts around tectonic breaks from winter to the summer, and vice versa. Air mass create additional loadings on earth crust, intensifying exogenous processes in it and initiating the seismic phenomena.

Keywords: seasonal, interannual variability, of atmospheric circulation, the earthquakes.

Вопрос о существовании внутригодовой или сезонной изменчивости сильных землетрясений на сегодняшний день является дискуссионным. Ряд ученых считают, что сезонная изменчивость сильных землетрясений свойственна природным процессам [Барсуков, Шаманин, 2001; Боков, Воробьев, 2007; Гохберг и др., 1995; Дещеревский, Сидорин, 2001; Дещеревская, Сидорин, 2005; Кропоткин, Люстих, 1974; Левин, Сасорова, Журавлев, 2005], а другие отрицают ее существование [Дещеревская, Сидорин, 2005, Дещеревская, Сидорин, 2008]. Действительно, с точки зрения сейсмологии весьма сложно объяснить наличие сезонного хода землетрясений. Анализ внутригодовой изменчивости землетрясений показал, что она имеет значительные различия, как по величине размаха, так и по синфазности годового хода даже для соседних сейсмоактивных районов. С целью получения общих закономерностей сезонной изменчивости исследования проводят по крупным регионам Земли [Кропоткин, Люстих, 1974] или по глобальным данным, включающие северное, южное полушария и всю

Землю в целом [Барсуков, Шаманин, 2001; Левин, Сасорова, Журавлев, 2005]. В работе [Дещеревская, Сидорин, 2005] утверждается, что геофизические экзогенные явления в земной коре существенно зависят от сезонной изменчивости гидрометеорологических процессов. Это совпадает с научной концепцией, используемой при разработке новых методов прогноза землетрясений [Боков, 2003; Сытинский, 1987].

По мнению ряда авторов, главной причиной сезонной изменчивости землетрясений является сезонные изменения угловой скорости вращения Земли $\Omega(t)$ [Барсуков, Шаманин, 2001; Гохберг и др. 1995; Кропоткин, Люстих, 1974] или приливные явления луны и солнца [Левин, Сасорова, Журавлев, 2005]. Результаты исследований, представленные в перечисленных работах, показывают, что указанные факторы обуславливают сезонную изменчивость слабых и умеренных сейсмических явлений.

В большинстве немногочисленных работ, посвященных данной проблеме, преобладает гипотеза о влиянии сезонных изменений $\Omega(t)$. Однако, сезонная изменчивость скорости вращения Земли, как показано в работах [Вершовский, 2006; Кондратович, Куликова, Федосеева, 2001; Сидоренков, 2002], обусловлена её атмосферной циркуляцией. Следовательно, изменения $\Omega(t)$ также не являются главным фактором, влияющим на внутригодовое распределение сильных землетрясений. Это хорошо видно на рис. 1. Максимумы и минимумы внутригодового изменения угловой скорости вращения $\Omega(t)$ не совпадают с максимумами и минимумами внутригодового распределения сильных землетрясений для представленных сейсмоактивных регионов Земли.

Одним из главных факторов, инициирующих землетрясения в синоптическом диапазоне изменчивости является пространственно-временная изменчивость атмосферной циркуляции [Боков, 2003; Сытинский, 1987]. Является ли этот фактор определяющим изменчивость сильных землетрясений в сезонном диапазоне? Чтобы ответить на этот вопрос необходимо рассмотреть атмосферные преобразования, предшествующие моменту сильных землетрясений в диапазоне синоптической изменчивости, поскольку сезонная изменчивость определяется набором синоптических ситуаций.

Предполагая влияние атмосферы на сезонную изменчивость сильных землетрясений [Боков, Воробьев, 2007], убедимся на ряде сейсмически активных регионов, что сильные землетрясения определяются главным образом изменчивостью атмосферной циркуляции, свойственной данным регионам.

Для этой цели мы использовали данные Национального сейсмологического центра США [<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes>], а также национальные архивы России [<http://www.ceme.gsras.ru>] и Греции [<http://www.gein.noa.gr>]. Из указанных архивов были выбраны землетрясения с $M \geq 5,0$, с $M \geq 6,0$ и с $M \geq 7,0$ для ряда регионов Северного полушария с 1901 по 2007 г. Данные по повторяемости атмосферных процессов по регионам Северного полушария взяты из «Атласа синоптических характеристик цикло-и антициклогенеза и цикло и ан-

тициклолиза в Северном полушарии» [Хайрулин, 1990]. Из рассмотренных в атласе четырех типов циркуляционных процессов наиболее информативными, для преобладающего числа сейсмоактивных регионов, оказались подвижные циклоны, антициклоны и процессы антициклолиза.

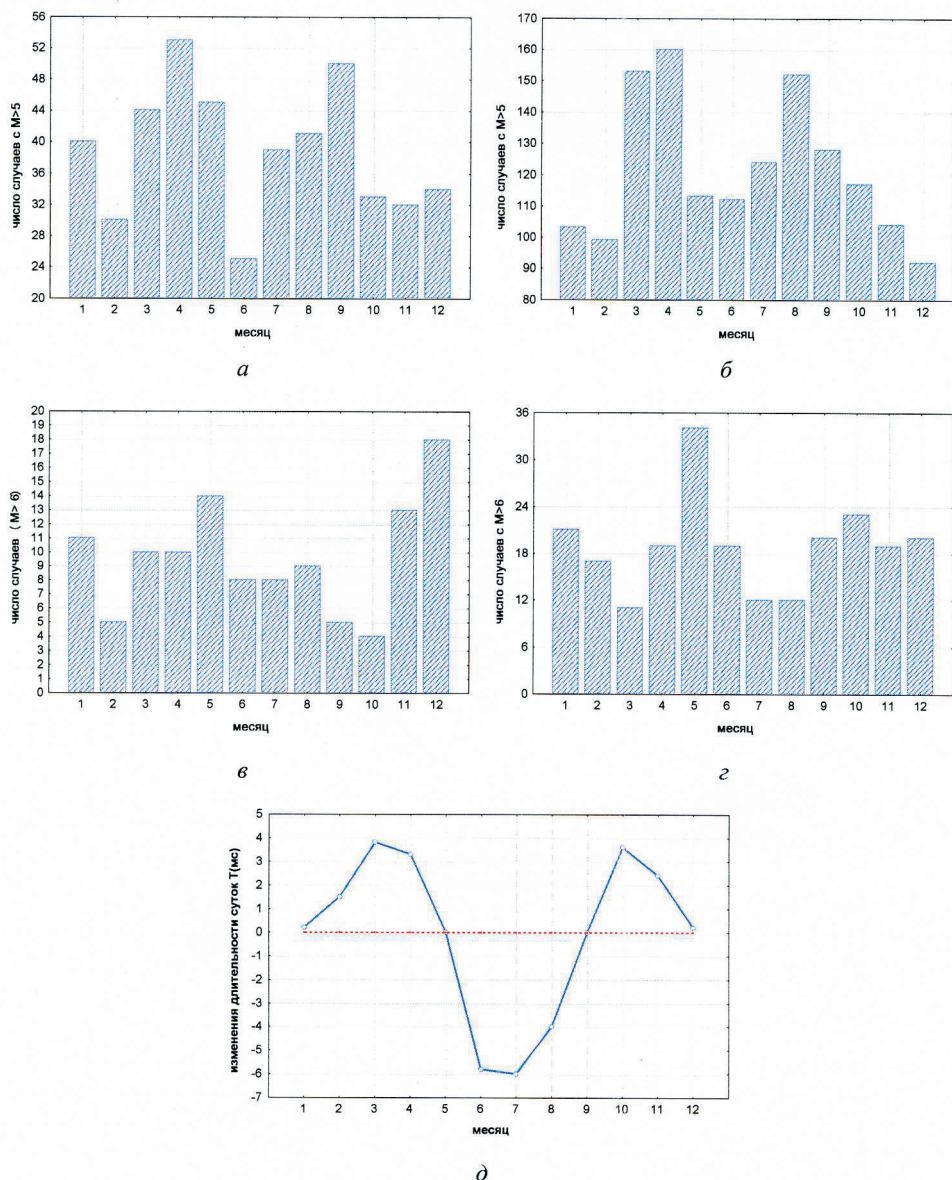


Рис. 1. Гистограммы сезонной изменчивости сильных землетрясений в различных регионах Земли и график годового хода скорости ее вращения: Турция $M \geq 5$ (а), Греция $M \geq 5$ (б), Камчатка $M \geq 6$ (в), Япония $M \geq 6$ (г), скорость вращения Земли (д)

Рассмотрим результаты исследований связей землетрясений и атмосферной циркуляции в сезонном диапазоне изменчивости для ряда регионов Северного полушария.

Район Курильских островов

Район Курильских островов относится к наиболее сейсмически активным районам Земли. В поперечном разрезе Курильской дуги различают [Апродов, 2000]: глубоководный Курило-Камчатский желоб, подводную островодужную террасу, поднятие Малой Курильской гряды с продолжающим ее на север подводным хребтом Витязь, внутридуговой грабен между Малой и Большой Курильской грядями, горст Большой Курильской гряды, Курильскую тыловую глубоководную котловину в Охотском море.

Для района Курил характерна сильная атмосферная изменчивость, поэтому сильные землетрясения здесь инициируются в основном пространственной изменчивостью, как циклонов, так и антициклонов. Вклад в инициирование сильных землетрясений зависит от мощности атмосферного вихря и его расположения относительно эпицентра землетрясения и линии тектонического разлома [Боков, 2003].

На рис. 2 представлены графики внутригодовой изменчивости землетрясений с $M \geq 6$ и подвижных циклонов (рис. 2, *а*) и антициклонов (рис. 2, *б*) над Курильскими островами. Из рисунка видно, что большая повторяемость землетрясений в январе и декабре определяются циклоническими атмосферными процессами, а в остальные месяцы года антициклональными атмосферными процессами.

Примеры характерных синоптических условий, инициирующие землетрясения в зимний период отражены на рис. 3, *а*. Подобные примеры для летнего периода отражены на рис. 3, *б*. Приведенные карты барических полей дают общее представление о характере атмосферных процессов и указанные периоды года и подчеркивают выводы, сделанные на основе рис. 2, *а*, *б*.

Поскольку инициирование землетрясений происходит при совместном участии, как циклонов, так и антициклонов, то попытаемся получить комбинированный внутригодовой ход повторяемости циклонов и антициклонов с учетом их вклада по месяцам. Для этого сложим повторяемости подвижных циклонов и антициклонов и сумму разделим на два. Полученный результат представлен на рис. 4, из которого видно, что сезонная изменчивость сильных землетрясений определяется сезонной изменчивостью атмосферных процессов. Особенно четко это проявляется во время весенне-осенних перестроек атмосферных процессов. Совмещение графика землетрясений и комбинированного графика циклонов и антициклонов показывают хорошую когерентность во все месяцы года, землетрясений с коэффициентом корреляции $r = 0,65$. При этом следует учитывать, что данный коэффициент корреляции отражает пространственно-временное обобщение информации за большой период времени и на обширном пространстве.

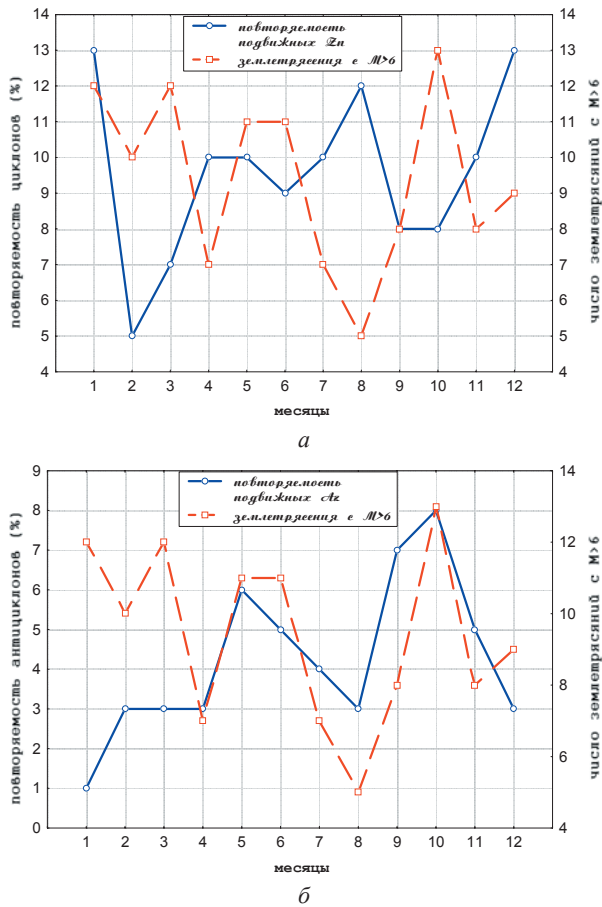


Рис. 2. Сезонная изменчивость сильных землетрясений с $M \geq 6$ и подвижных циклонов (а) и подвижных антициклонов (б) в районе Курил

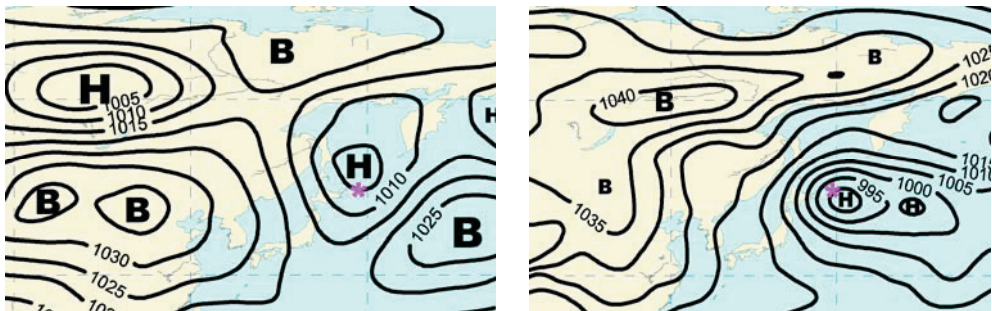


Рис. 3а. Землетрясения на Курильских островах в зимние месяцы:
 - 7 ноября 1958 г. (44.5N, 148.5E) с $M = 8,2$ (верхний);
 - 3 декабря 1996 г. (44.3N, 149.1E) с $M = 6,8$ (нижний). Знаком * отмечен эпицентр землетрясения

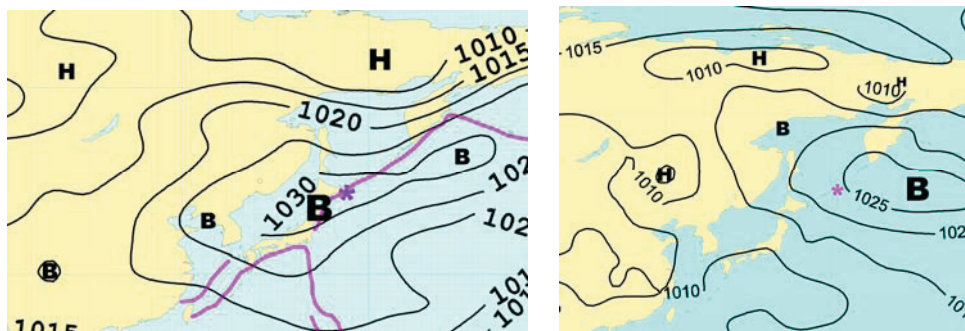


Рис. 3б. Землетрясения на Курильских островах в летние месяцы: 24 июня 1973 г. (43.32N, 146.44E) с $M = 7,1$ (верхний); -07 августа 2004 г. (27.32N, 151.31E) с $M = 6,7$ (нижний)

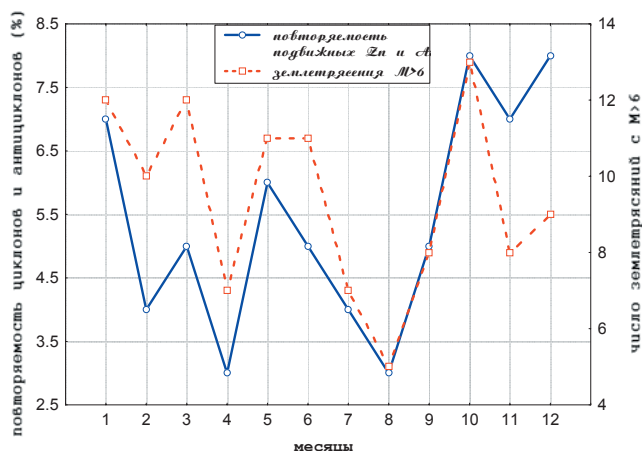


Рис. 4. Внутригодовое комбинированное распределение землетрясений на Курильских островах в сопоставлении с общей повторяемостью подвижных антициклонов и циклонов

Район о. Сахалин

Сахалинско-Японская островная дуга протягивается на 3 тыс. км через острова Сахалин, Хоккайдо, Хонсю, Сикоку и Кюсю [Апродов, 2000]. Остров Кюсю является одновременно и северной частью островной дуги Рюкю. Строение Сахалинско-Японской дуги неоднородно: она состоит из больших и малых литосферных глыб. С восточной стороны Японские острова обрамляют глубоководные желоба. На юге Японии четко выраженные глубоководные желоба отсутствуют. Сахалинская островная глыба имеет сложное строение. Это крупное (длина 948 км) горст-антиклинальное поднятие, расположенное между грабени-прогибами Татарского пролива на западе и впадиной Дерюгина на востоке. Наиболее важными в сейсмическом отношении являются Восточно-Сахалинский и Западно-Сахалинский краевые глубинные разломы, с которыми связаны 6–7-балльные землетрясения.

На территории о. Сахалин наибольшее количество землетрясений наблюдается в северной, центральной и в южной частях острова. Отдельные землетрясения отмечаются также по всему острову.

Внутригодовое распределение землетрясений с магнитудами $M > 6$ и $M > 7$ для территории о. Сахалин имеет более сложный характер, чем для других рассматриваемых регионов и представлено на рис. 5. Внутригодовое распределение землетрясений многомодально, а наибольшее количество сильных землетрясений отмечается в январе, марте, мае-июне, октябре и декабре.

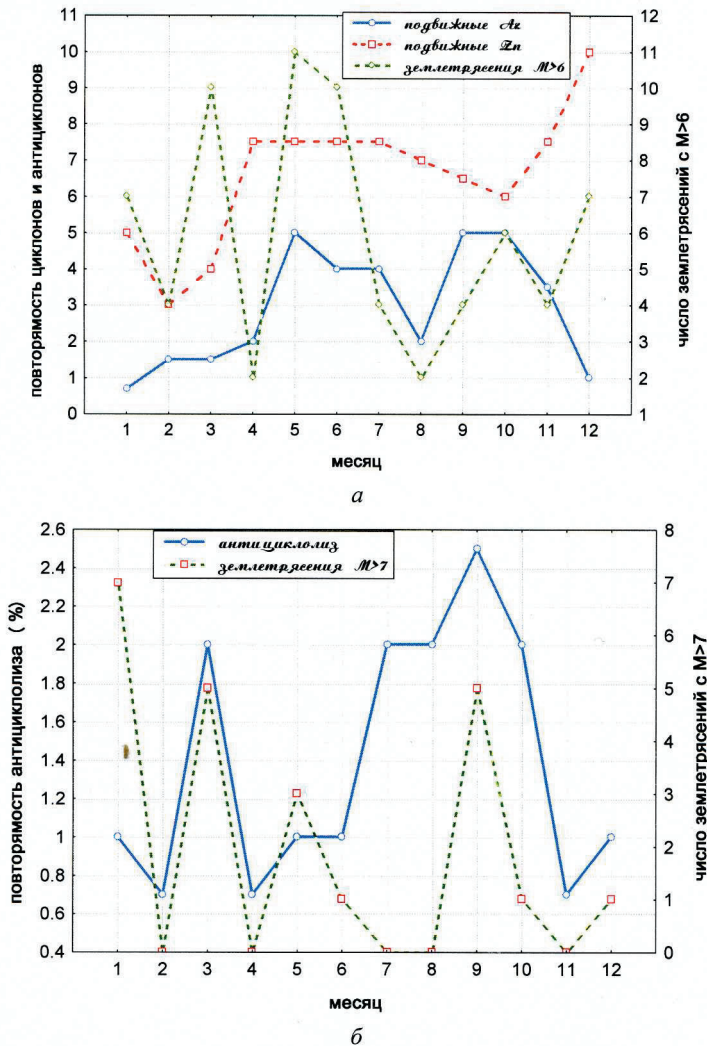


Рис. 5. Внутригодовое распределение землетрясений с $M > 6$ на о. Сахалин в сопоставлении с подвижными циклонами и антициклонами (а) и процессов антициклолиза для землетрясений с $M > 7$ (б)

Для ряда сейсмоактивных регионов на фоне местного антициклолиза в роли триггера сильных землетрясений выступают атмосферные вихри, центры которых находятся на расстояниях до тысячи километров. Это в полной мере относится к о. Сахалин.

Над территорией о. Сахалин достаточно часто располагаются периферии Сибирского максимума и Алеутской депрессии, а также Гавайского максимума и летней азиатской депрессии [Справочник "Охотское море", 1998]. Это обуславливает влияние на сезонную изменчивость землетрясений не только подвижных циклонов и антициклонов (рис. 5, а), но и процессов антициклолиза (рис. 5, б). Вклад подвижных циклонов на внутригодовое распределение землетрясений наблюдается только для января и декабря. Подвижные антициклоны влияют на увеличение землетрясений в мае–июне, сентябре и октябре. В январе, марте, мае и сентябре сезонная изменчивость сильных землетрясений с $M \geq 7$ связана с процессами антициклолиза. Это означает, что землетрясения на о. Сахалин часто возникают на периферии атмосферных вихрей центры, которых располагаются в районах Сибирского максимума и Алеутской депрессии, а также Гавайского максимума и летней азиатской депрессией. В зависимости от господствующих в течение месяца указанных атмосферных вихрей суммарный вектор деформационных процессов земной коры, происходящих под воздействием воздушных масс на обширных соседних территориях, приходится на какой-то определенный сейсмоактивный район о. Сахалина. Это наглядно видно из рис. 6, на котором отражены два примера синоптической обстановки в день когда произошли землетрясения на о. Сахалин в различные сезоны года.

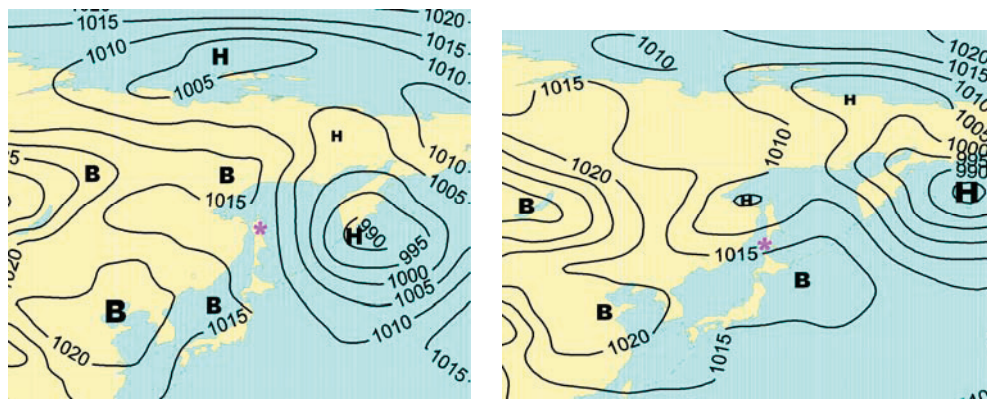


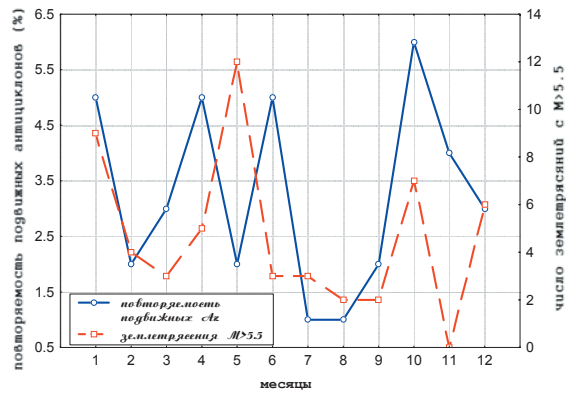
Рис. 6. Землетрясения на о. Сахалин: 28 мая 1995 г. (43.32N, 146.44E) с $M = 7,5$ (верхний); -11 октября 2007 г (46.95N, 141.82E) с $M = 4,7$ (нижний)

Район Кавказа

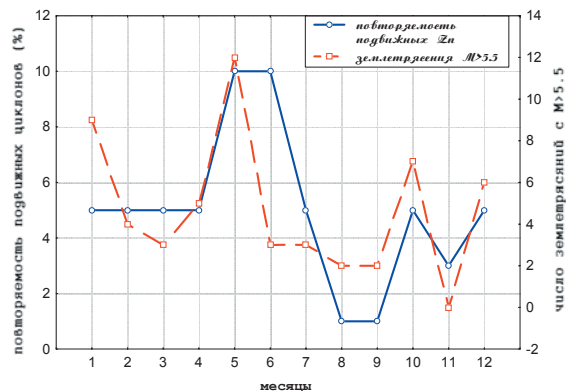
Наибольшее количество землетрясений наблюдаются: в центральной части Большого Кавказа; на западном побережье Каспийского моря; в центральной части Малого Кавказа; в районе Армянского нагорья. Кавказская сейсмическая

структура, являясь частью Копетдагского-Кавказско-Крымской горной системы, представляет собой совокупность складчато-блоковых новейших тектонических структур. По ее разломам происходят интенсивные мелкофокусные землетрясения [Апродов, 2000].

Для района Кавказа, где на фоне повышенного атмосферного давления часто проходят циклонические вихри, и сезонное распределение сильных землетрясений обусловлено, преимущественно, подвижными циклонами. Это хорошо видно на рис. 7, а, на котором представлены графики внутригодовой изменчивости подвижных циклонов и землетрясений с магнитудой $M \geq 5,5$. Из рисунка видна хорошая когерентность почти во все месяцы года циклонов и землетрясений с коэффициентом корреляции $r = 0,57$. Подвижные или местные антициклоны оказывают значительное влияние на инициирование землетрясений только в январе и октябре (рис. 7, б).



а



б

Рис. 7. Внутригодовое распределение землетрясений на Кавказе в сопоставлении с подвижными антициклонами (а) и подвижными циклонами (б)

Результат, представленный на рис. 7, является наглядным примером влияния сезонной изменчивости региональной атмосферной циркуляции на сезонную изменчивость сильных землетрясений.

Район Греции

Район Греции входит в зону землетрясений Восточно-Средиземноморского региона, который характеризуется сложным взаимодействием Африканской, Аравийской и Европейской литосферных плит. В общем виде взаимодействие Африканской, Аравийской и Европейской литосферных плит сводится к движению Африканской и Аравийской плит на север и к сдвигу Малоазиатского литосферного блока на запад, а Адриатического на северо-восток. При этом Малоазиатский блок оказывает сильное воздействие на опущенный Эгейский блок, а также происходит взаимодействие Эгейского блока с Африканской плитой. Это вызывает поддвиг литосферы под Эгейский блок по линии Эллинского глубоководного желоба, протянувшегося от Ионических островов (у западных берегов Греции) до островов Крит и Родос. Эти и ряд других процессов вызывают многочисленные землетрясения на границах взаимодействующих литосферных блоков. Система литосферных блоков

Центральной Греции примыкает к северному флангу Эллинской дуги. В ней выделяются блок полуострова Пелопоннес, блок Пинд, блок островов Эвбея. Они разделены разломами Коринфского залива, проливов Эввоикос, Эврипос. С разломами связаны землетрясения, которые по своей силе превосходят землетрясения Эллинской дуги [Апродов, 2000]. Сложность пространственного распределения литосферных блоков обуславливает и сложность анализа влияния атмосферных процессов на сезонную изменчивость сейсмичности.

Сейчас нам не важна детальная оценка влияния атмосферы на внутригодовую изменчивость сейсмичности по каждому блоку. На данном этапе остановимся на внутригодовой изменчивости землетрясений в целом для всей территории Греции.

Внутригодовое распределение землетрясений с магнитудами более 5 и 6 баллов для территории Греции представлено на рис. 8. Из рисунка следует, что в марте–апреле и августе отмечается наибольшее количество сильных землетрясений. Для других месяцев внутригодовая изменчивость землетрясений с магнитудами более 5 и 6 баллов различна.

Рассмотрим внутригодовую изменчивость землетрясений и оценим их повторяемость на территории Греции для сильных землетрясений с магнитудами более 5 и более 6 баллов. На рис. 8, а приведен годовой ход подвижных циклонов, антициклонов и число землетрясений с $M \geq 5$. Из рисунка следует, что для землетрясений с $M \geq 5$ наибольшая повторяемость «обеспечивается» подвижными циклонами в апреле. Второй годовой максимум повторяемости землетрясений – август – обусловлен влиянием подвижных антициклонов. В остальные месяцы года повторяемость землетрясений определяется совместным влиянием подвижных циклонами и антициклонов.

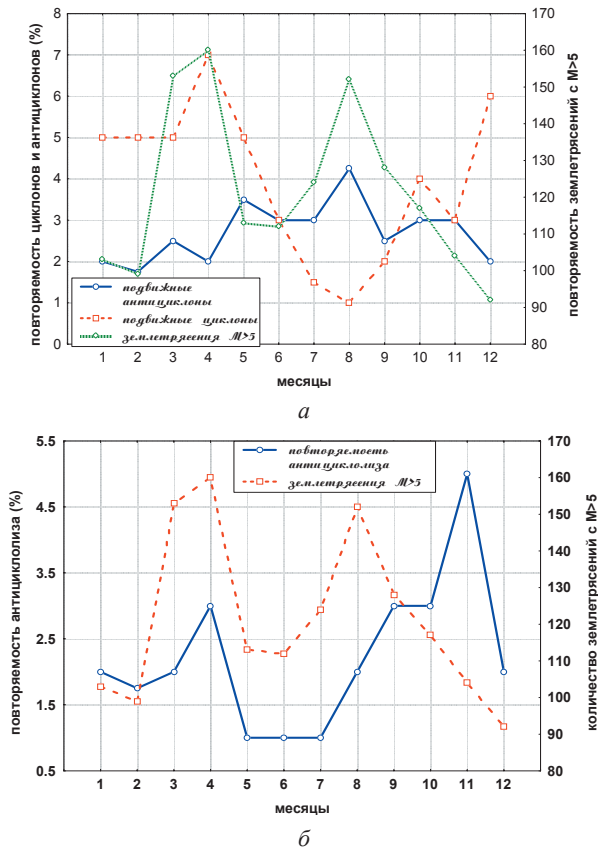


Рис. 8. Внутригодовое распределение землетрясений с $M > 5$ на территории Греции в сопоставлении с подвижными циклонами и антициклонами (а) и процессов антициклолиза (б)

Для территории Греции на повторяемость числа землетрясений также влияет и процесс антициклолиза, внутригодовая изменчивость которого представлена на рис. 8, б. Анализ графиков числа землетрясений с $M \geq 5$ и повторяемости антициклолиза показывает влияние процессов антициклолиза на сейсмичность Греции. Из рис. 8, б видно, что влияние процессов антициклолиза исчезает в осенне-зимний период, и поэтому коэффициент корреляции с землетрясениями не велик и составляет $r = 0,21$.

Выводы

Впервые выявлена связь сезонной изменчивости сильных землетрясений в различных сейсмоактивных регионах Земли с региональными атмосферными процессами.

Исследования показали, что внутригодовая изменчивость атмосферных процессов и внутригодовая изменчивость землетрясений в различных регионах

Северного полушария различна. Анализ связи внутригодовой изменчивости атмосферных процессов с внутригодовой изменчивостью сейсмичности достаточно сложен. Однако понимание этой связи определяется в синоптическом диапазоне изменчивости при анализе конкретных случаев сильных землетрясений и преобразований атмосферной циркуляции. Основной причиной внутригодовой изменчивости землетрясений являются сезонные смещения климатических фронтов относительно тектонических разломов от зимы к лету, и наоборот. Воздушные массы создают дополнительные нагрузки на земную кору, усиливая в ней экзогенные процессы и инициируя сейсмические явления.

Литература

1. *Апродов В.А.* Зоны землетрясений. – М.: Мысль, 2000, с. 462.
2. *Барсуков О.М., Шаманин С.В.* Сезонные изменения сейсмичности и скорости вращения Земли // ДАН, РАН, 2001, т. 379, № 1, с. 99-100.
3. *Боков В.Н.* Изменчивость атмосферной циркуляции – инициатор сильных землетрясений // Изв. РГО РАН, 2003, т. 135, вып. 6, с. 54 – 65.
4. *Боков В.Н., Воробьев В.Н.* О связи сильных землетрясений с атмосферной циркуляцией в сезонном и межгодовом диапазонах изменчивости // Сб. трудов конф. «Юбилейные чтения памяти А.Л. Чижевского, посвященные 110-летию ученого» 27–30 ноября 2007. – СПб.: изд. Политех. ун-та, 2007, с. 51-56.
5. *Вершовский М.Г.* Электронный журнал "Исследовано в России", 275, с. 2651-2660, 2006. <http://zhurnal.apc.relarn.ru/articles/2006/275.pdf>.
6. *Горькавый Н.Н., Левицкий Л.С., Тайдакова Т.А., Трапезников Ю.А., Фридман А.М.* О корреляции графиков угловой скорости вращения Земли и модуля ее временной производной с частотой землетрясений в зависимости от их магнитуды // Физика Земли, 1994, № 10, с. 33-38.
7. *Гохберг М.Б. и др.* О механизме модуляции количества сильных землетрясений и частоты вращения Земли // ДАН, Геофизика, 1995, т. 341. № 3, с. 813-815.
8. *Дещеревская Е.В., Сидорин А.Я.* Ложная годовая периодичность землетрясений, обусловленная сезонными изменениями помех // ДАН, РАН, 2005, т. 400, № 6, с. 798-802.
9. *Дещеревский А.В., Сидорин А.Я.* Двухкомпонентная модель геофизических процессов: сезонные вариации и фликкер-шум // ДАН, РАН, 2001, т. 376, № 1, с. 100-105.
10. *Дещеревская Е.В., Сидорин А.Я.* Внутрисезонные колебания сейсмичности Гармского полигона и их связь с атмосферными процессами // ДАН, РАН, 2005, т. 401, № 1, с. 80-83.
11. *Дещеревская Е.В., Сидорин А.Я.* Поиск корреляции сейсмичности Гармского полигона с атмосферным давлением и скоростью ветра // Геофизические исследования, 2008, т. 9, № 1, с. 34-39.
12. *Кондратович К.В., Куликова Л.А., Федосеева Н.В.* Изменения атмосферных макропроцессов и температуры водной поверхности Атлантики в XX веке / В сб.: Тимонов В.В. К 100-летию со дня рождения. – СПб.: изд. РГГМУ, 2001, с. 30-37.
13. *Кропоткин П.Н., Люстих А.Е.* Сезонная периодичность землетрясений принцип Ньютона-Маха // ДАН АН СССР, 1974, т. 217, № 5, с. 1061-1064.
14. *Левин Б.В., Сасорова Е.В., Журавлев С.А.* Внутригодовая повторяемость активизации сейсмического процесса для тихоокеанского региона // ДАН АН, 2005, т. 403, № 4, с. 534-540.
15. *Сидоренков Н.С.* Атмосферные процессы и вращение Земли. – СПб: Гидрометиздат, 2002. – 360 с.
16. Справочник "Охотское море". Проект "Моря СССР". Т. IX. Вып. 1. – СПб.: Гидрометеиздат, 1998, с. 465.
17. *Сытинский А.Д.* Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 100 с.
18. *Хайруллин Р.Р.* Атлас синоптических характеристик цикло- и антициклогенеза цикло- и антициклолиза в Северном полушарии. – Обнинск, 1990. – 101 с.