

ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОЗОНОСФЕРЕ

А.В. Тертъшников

По результатам обработки данных о состоянии озоносферы над сейсмоактивными регионами (Средней Азии, Кавказом, Камчаткой и Японией) показано существование неизвестного ранее эффекта, связанного с генезисом землетрясения.

Ключевые слова: озон, общее содержание озона, эксперимент, оптическая толщина атмосферы, землетрясения, предвестник, прогноз, сейсмическая опасность.

ВВЕДЕНИЕ

По результатам мониторинга атмосферы над сейсмоопасными регионами отмечается изменение газового состава, перегрев, нарушение гидростатического равновесия, изменение волнового спектра, изменение характеристик спектральной прозрачности [1, 2].

Спектральная прозрачность атмосферы (СПА) регистрируется по ряду длин волн (λ) и представляет отношение потока квазимонохроматического излучения (S_λ), прошедшего через атмосферу к земной поверхности в виде параллельного пучка в направлении к вертикали и регистрируемого у поверхности Земли, к потоку излучения на тех же длинах волн, но на верхней границе атмосферы ($S_{0,\lambda}$): $P_\lambda = (S_\lambda / S_{0,\lambda}) / m$, где m – оптическая масса атмосферы, соответствующая угловой высоте диска Солнца в момент измерения. СПА рассчитывают по наблюдениям Солнца в безоблачные дни или через разрывы в облаках.

Для оценивания изменений СПА над сейсмоопасными регионами использовались наблюдения по 6-и длинам волн (344, 369, 463, 530, 572 и 627 нм) в видимом диапазоне относительно 28 достаточно сильных приповерхностных землетрясений Средней Азии [2] за 1973–82 гг. Все наблюдения производились на ст. Чарджоу (39°05'с.ш., 63°36'в.д.) в интервале ± 7 суток от землетрясения региона.

Учитывая опыт диагностики геохимических и ионосферных предвестников землетрясений, обработка наблюдений производилась в единицах среднеквадратического отклонения каждого анализируемого отрезка данных. Кроме этого, использовались весовые

коэффициенты на неравноточность наблюдений, а также на «полноту» данных в каждом j -м столбце через коэффициент $k_j = (28 - n_j) / 28$, где n_j – число пропусков в j -м столбце с предположением, что общий вес усредненного за j -й день значения $\bar{P}_\lambda(j)$ определяется произведением весов на неравноточность и на полноту.

Результаты осреднения полученных данных показали (рис. 1) большую чувствительность ультрафиолетового диапазона спектра к сейсмической опасности.

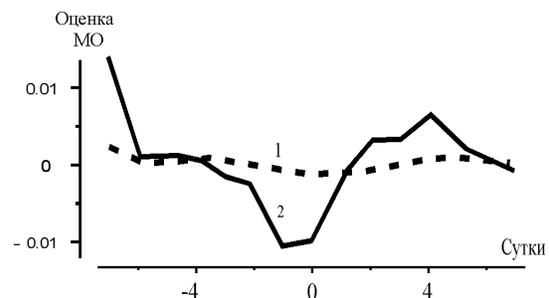


Рис. 1. Изменение оценок математического ожидания нормированной спектральной прозрачности атмосферы по двум длинам волн: 1 – 627, 2 – 344 нм.

Наблюдения в ультрафиолетовом диапазоне спектра связаны с функционирующей несколько десятилетий системой мониторинга озоносферы. Вполне обоснована диагностика сейсмоозонных эффектов в данных интегрального (общего) содержания озона в атмосфере (ОСО). В СССР они производились совместно с регистрацией СПА.

По программе наземных дистанционных радиометрических наблюдений за солнечным

излучением и содержанием аэрозолей в атмосфере (AERONET) [<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>] функционирует всемирная наблюдательная сеть автоматизированных радиометров, фиксирующих интенсивность излучения неба и Солнца. В Интернете представлены данные наблюдений за оптической толщиной атмосферы по 8 длинам волн: 340, 380, 440, 500, 675, 870, 1020, 1640 нм с более 460 станций сети AERONET, что позволяет исследовать проявление предвестников землетрясений в характеристиках СПА.

Статистические характеристики обобщенного портрета вариаций оптической толщины атмосферы по наблюдениям станций сети AERONET исследовались над сейсмоопасными регионами в интервале ± 30 суток от 30 землетрясений. В спектре мощности вариаций анализируемых характеристик отчетливо проявилась многомерная структура, характерная для эволюции нелинейных динамических систем. Аномальность рассчитанных оценок мощности каждого анализируемого периода оценивалась путем сравнения с фоновыми оценками по двухвыборочному критерию Колмогорова-Смирнова [5].

В результате сравнения проявилось статистически значимое различие оценок

мощности периодов: $T=3$ суток ($p<0,01$), $T=5$ суток ($p<0,025$), $T=10$ суток ($p<0,005$). Отмечено также увеличение количества крупных частиц аэрозолей к землетрясению, как и в [1, 3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ СЕЙСМООЗОННЫХ ЭФФЕКТОВ

Сейсмоозонные эффекты над Средней Азией

В поиске возможных сейсмогенных эффектов в состоянии озоносферы над Средней Азией использовалось 87 сильных землетрясений региона 1972-85гг. [3, 4]. После исследования региональных климатических особенностей озоносферы (рис. 2) данные озонометрической сети в интервале $-5...+4$ суток от даты каждого землетрясения с использованием метода параллельных наблюдений и наложения эпох эти данные преобразовывались в набор вариаций (в единицах ско) ОСО. Эти значения координатно связаны с эпицентром обобщенного сильного землетрясения, образуя набор точек, представленный на нижнем фрагменте рис. 2.



Рис. 2. Сеть точек, использованная для восстановления поверхности возмущений ОСО. На фрагменте с климатическим распределением ОСО отмечен эпицентр обобщенного землетрясения.

По этим значениям с помощью триангуляционного метода восстанавливались поверхности, записываемые в узлы регулярной сетки по 256 градациям в интервале значений $\pm 2\sigma$. Далее проводился анализ вида гистограмм распределения узловых значений сетки восстановленных фрагментов в окне размером 256x256 узлов над эпицентральной зоной обобщенного землетрясения.

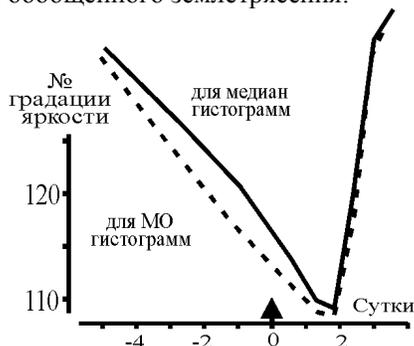


Рис. 3. Изменение медианы и математического ожидания гистограмм узловых значений восстановленных фрагментов

На рис. 3 представлены оценки математического ожидания и медиан гистограмм. Достаточно очевидно понижение ОСО к землетрясению с соответствующей асимметрией гистограмм. Эти эффекты подтверждают выводы о лучшем проявлении процессов подготовки землетрясений в ультрафиолетовом диапазоне спектра.

Сейсмоозонные эффекты над Закавказьем

Для диагностики СОЭ Закавказья архивные данные ОСО на станциях Тбилиси сопоставлялись с датами сильных землетрясений региона. Для этого за период 1974–88гг. было выбрано 49 сильных землетрясений [3, 5].

В результатах первичного осреднения СОЭ Кавказа (рис.4) проявилось пониженное ОСО в день с землетрясением и на следующие сутки после него, повышенное ОСО за 2–3 суток до землетрясения, что соответствует СОЭ Средней Азии. Среди сезонных особенностей проявления СОЭ на станции Тбилиси можно отметить уменьшение ОСО перед землетрясением, которое продолжительнее в летний сезон (рис. 4). Сезоны разделялись датами равноденствий.

Зимой за 2–3 дня до землетрясения выделяется увеличение ОСО, как и над Средней Азии. Лучше всего сейсмоозонные эффекты проявляются весной при перестройке атмосферной циркуляции и повышенном ОСО.

С использованием критериев непараметрической статистики оценивалась случайность проявления предполагаемых предвестниковых эффектов. Для локальных максимумов подтвердилось увеличение повторяемости их появления за 3 суток до землетрясения. За 7–8 суток перед землетрясением отмечено увеличение СКО нормированного содержания озона.

Амплитуда потенциальных СОЭ невелика. Для диагностики СОЭ в спектре вариаций озоносферы была увеличена длина анализируемых рядов озонотрии. В рассчитанных периодограммах проявился многомодовый характер и аномальное изменение мощности отдельных частот (рис. 5).

Мощности вариаций на периодах $T=2-3$ суток, $T=5, 8$ и 10 суток, как и для СПА, значительно отличаются от фоновых вариаций.

Сейсмоозонные эффекты над Камчаткой

Для диагностики СОЭ Камчатки [3], учитывая наклон сейсмофокальной зоны региона, использованы:

- мелкофокусные сильные землетрясения (МЗ) с $M > 4.5$ и глубиной гипоцентра до 60 км, произошедшие вблизи от г.Петропавловск-Камчатский под территорией Камчатки;
- сильные среднефокусные землетрясения (СЗ) с глубиной гипоцентра более 60км, связанные с сейсмофокальной зоной, произошедшие вблизи от полуострова и вызвавшие его синхронные движения.

Дополнительные ограничения для отбора землетрясений связаны с наличием озонотрической информации в интервале – 50...+10 суток от даты землетрясения. Этот достаточно продолжительный отрезок времени, превышающий оценку продолжительности жизни молекулы озона в нижней стратосфере, где происходят наибольшие вариации ОСО.

С учетом перечисленных требований из ежегодников “Сильные землетрясения в СССР в 19.. году” за 1973–89гг. удалось отобрать 25 СЗ и 14 МЗ [4, 6]. Для этих землетрясений были собраны данные ОСО. После нормировки и типизации исходных данных методом “наложения эпох” оценивались их “обобщенные портреты” по ежедневным оценкам МО и СКО с учетом неравноточности наблюдений. В них проявилось пониженное ОСО в день СЗ на фоне общая тенденция к его уменьшению [6]. Переход через среднее

двухмесячное значение ОСО происходит примерно за три недели до СЗ. Для более слабых МЗ на фоне общей тенденции к увеличению ОСО в момент МЗ проявился небольшой всплеск ОСО. Изменения ОСО после землетрясений интересны с точки зрения сейсмоклиматических эффектов.

Для анализа сейсмогенных периодичностей использовался “обобщенный портрет” типизированных данных озоносодержания по повторяемости локальных экстремумов сейсмогенной и фоновой выборок с продолжительностью $N=50 \div 59$ суток. Использование приема типизации обусловлено неочевидностью физики сейсмоозонных взаимодействий.

С помощью прямого дискретного преобразования Фурье рассчитывались спектры мощности вариаций типизированных данных ОСО.

На рис. 6 представлены периодограммы, рассчитанные для обобщенных портретов повторяемости локальных экстремумов.

Для локальных максимумов в данных озонотрии перед СЗ, выделяется достаточное интенсивный выброс на низких частотах, превышающий фоновые вариации на 1-2 порядка.

Для фоновых вариаций меньшие по амплитуде выбросы проявляются только на 59 суточной выборке на периоде 14 суток, что кратко лунно-солнечным приливным циклам. Таким образом диагностика периода сейсмического затишья в атмосфере может использоваться для прогнозирования сейсмической активности региона.

Сейсмоозонные эффекты над Татено (Япония)

Для станции Татено, которая оказалась ближе всего к обобщенному эпицентру сильных землетрясений Японии, также отмечено понижение ОСО к моменту землетрясения и аномальные изменения спектра вариаций озоносферы [3]. Но сложная геологическая структура региона существенно влияет на проявление сейсмоозонных эффектов.

По данным вертикального зондирования ОСО установлены неслучайные различия климатического распределения ВРО и осредненного профиля ВРО в сейсмоактивные периоды времени – рис. 7.

Наибольшие изменения содержания озона проявляются в нижней стратосфере, что увязывается с концепцией нарушения гидростатической устойчивости атмосферы над сейсмоопасным регионом [1, 3, 7, 8].

Сейсмоозонные эффекты в приземном слое атмосферы

Изменение напряженно-деформированного состояния горных пород и трещинообразование приводит генерированию повышенного уровня электромагнитного излучения. Следствием этого может быть повышенная наработка приземного содержания озона в зоне сеймотектонической аномалии. Этот эффект увеличивается при повышенной концентрации приземных аэрозолей.

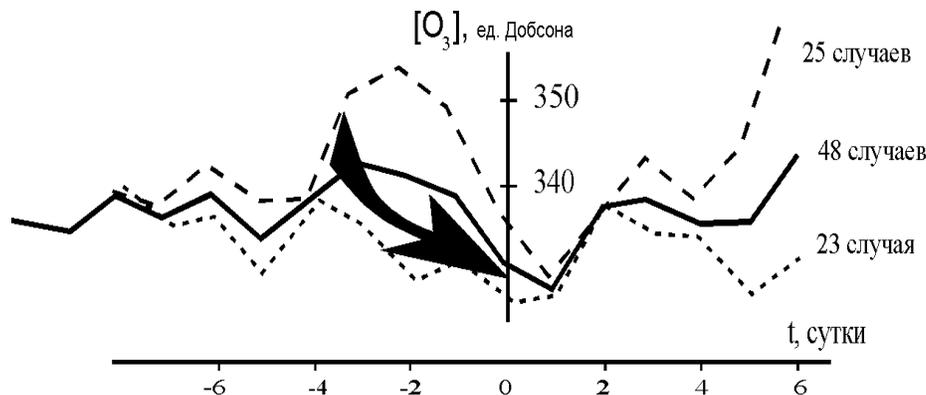


Рис. 4. Осредненные изменения ОСО над ст. Тбилиси. 48 случаев – многолетние средние, 25 случаев – зимний сезон, 23 случая – летний сезон.

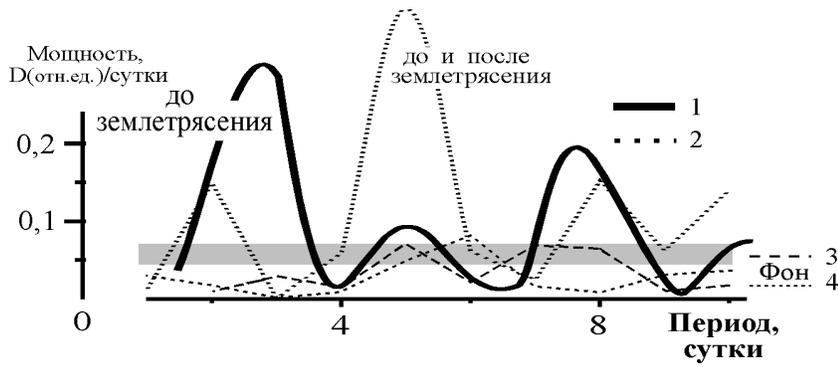


Рис. 5. Спектры мощности оценок математических ожиданий нормированных данных ОСО на станции Тбилиси:

- 1 - для 21-суточного ряда перед сильным землетрясением региона,
- 2 - до и после сильного землетрясения региона (-20...+10 суток),
- 3 - для фонового 21-суточного ряда, 4 - для фонового 31-суточного ряда.

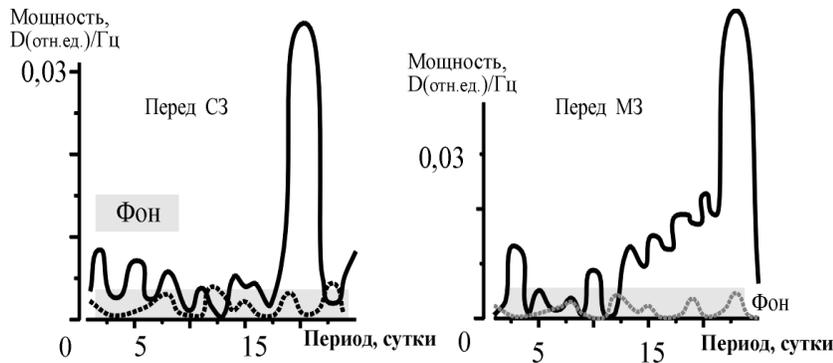


Рис. 6. Спектры мощности оценок повторяемости локальных максимумов в данных ОСО на станции Петропавловск-Камчатский перед сильными среднефокусными и сильными мелкофокусными землетрясениями региона и естественных вариаций.

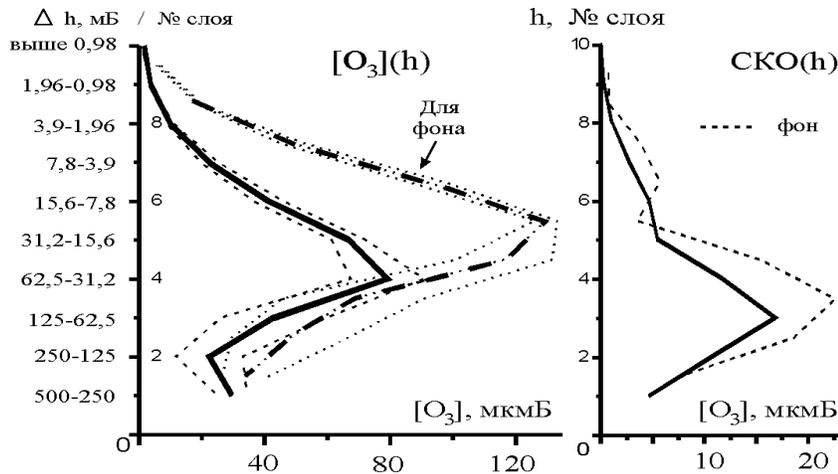


Рис. 7. Вертикальное распределение концентрации озона над станцией Татено
 (—) - для сейсмоопасных условий по 420 профилям,
 (- -) - климатическое по 3869 профилям,
 (·····) - границы трубок $MO \pm \sigma$

ВЫВОДЫ

Выявленные тенденции изменения содержания озона над сейсмоактивными регионами (Средней Азией, Кавказом, Камчаткой и Японией) свидетельствуют о нарушении гидростатической устойчивости атмосферы над сейсмоопасным регионом.

После землетрясения происходит увеличение содержания озона над сейсмоопасным регионом.

Электрическая квазинейтральность озона позволяет оценить основные механизмы взаимодействия геосфер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тertyшников А.В. Предвестники землетрясений и особенности их регистрации. – СПб.: ВИКА, 1996. 128с.
2. Тertyшников А.В., Акселевич В.И. Сейсмозрачные эффекты в экологическом мониторинге // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т.9, №4. С.515–520.
3. Тertyшников А.В. Эффекты сейсмоозонных связей над очагами сильных землетрясений//Физика Земли. 1995, № 9. С.66-71.
4. Тertyшников А.В. Сейсмоозонные эффекты и проблема прогнозирования землетрясений. – СПб.: ВИКА, 2000. 304 с.
5. Тertyшников А.В. Сейсмоозонные эффекты Закавказья//Физика Земли. 1994, № 5. С.53-61.
6. Тertyшников А.В., Дикарев В.И., Доронин А.П. Способ прогнозирования землетрясений. Патент на изобретение №2170448. МПК 7 G 01 V 9/00. Заявл. 17.09.1999. №9920123/28(021038).
7. Тertyшников А.В. Основы мониторинга чрезвычайных ситуаций. Учебное пособие. – Москва, 2011. 261 с.
8. Тertyшников А.В. Организация прогнозирования природных чрезвычайных ситуаций. Учебное пособие. – Москва, 2011. 268 с.