



Казахский Национальный Исследовательский Технический
Университет,
Институт Геологии и Нефтегазового Дела
Кафедра “Геофизики”

Сейсмогеофизические предвестники и стратегия прогнозирования землетрясений

Лекция 8

**Изучение влияния сильных землетрясений на вариации озона
по данным дистанционного зондирования**

По материалам: А. В. Дергунова, В. Б. Кашкина (2016) с дополнениями.

**Преподаватель: Абетов Ауэз Егембердыевич – профессор,
доктор геол.-мин. наук, академик НАН РК**

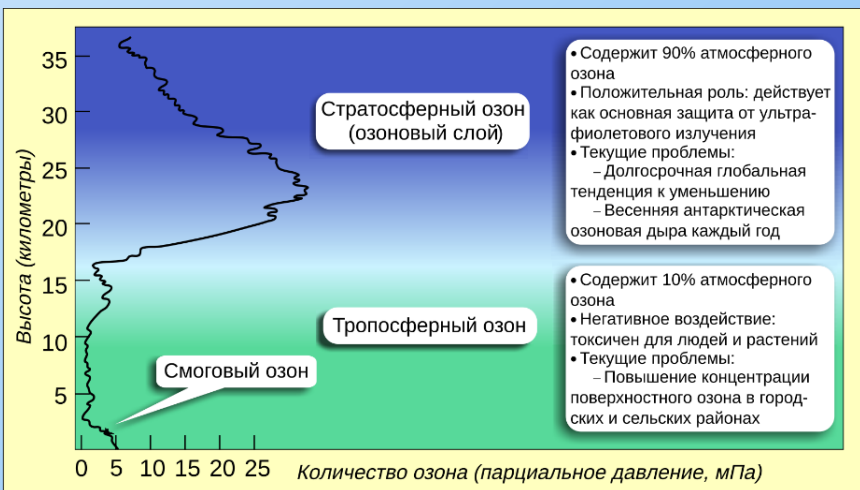
Введение

Озоновый слой — это часть атмосферы Земли, в которой происходит накопление озона. Экспериментальные методы позволяют обнаружить озон до высоты 80 км, но в более узком смысле под озоновым слоем или озоносферой понимают стратосферу, а именно её нижнюю часть, расположенную на высотах от 15 до 30 км. Именно в этом слое сосредоточено до 75% всего озона в атмосфере.

Если бы атмосфера была идеально разделена на слои, каждый из которых содержал бы только один газ, её общая толщина составила бы около 8 км. В таком гипотетическом сценарии толщина озонового слоя над конкретной точкой Земли была бы всего около 3 мм, однако это количество озона оказывает значительное влияние на защиту планеты от ультрафиолетового излучения.

Защитная роль озонового слоя заключается в поглощении большей части ультрафиолетового излучения, которое, в случае его чрезмерного поступления на поверхность Земли, может привести к серьёзным экологическим и здоровьесберегающим проблемам, таким как повышенный риск рака кожи, ухудшение иммунной системы, а также разрушение экосистем.

Ключевым параметром озонового слоя является его общее содержание озона, которое измеряется в единицах Добсона (ед. Д.)*. Эти единицы названы в честь британского метеоролога Г. М. Б. Добсона. Например, толщина гипотетического озонового слоя в 3 мм соответствует 300 единицам Добсона. Уровень озона в атмосфере может значительно варьироваться в зависимости от географического положения и времени года.



Справочно: Задача сохранения озонового слоя стала приоритетной для международного сообщества, особенно после подписания Монреальского протокола в 1987 году, который существенно ограничил использование веществ, разрушающих озон

Введение

Ежегодно на нашей планете происходят десятки и сотни землетрясений, некоторые из них чрезвычайно сильные и наносят огромный ущерб инфраструктуре и экономике многих государств. Сейсмическая активность в некоторых регионах нашей планеты способна вызывать смертоносные оползни и обрушение жилых зданий, а также вызывать многометровые цунами, что влечет за собой гибель тысяч людей.

При сейсмических событиях происходит выход литосферных газов в атмосферу, активизируются фотохимические процессы, которые приводят к дополнительному образованию молекул озона. В тропосфере и нижней стратосфере над сейсмически активными районами наблюдаются изменения общего содержания озона (ОСО).

Методики прогнозирования с использованием озоновых аномалий:

Спутниковые наблюдения: Современные спутники, такие как *Aura* и *Suomi NPP*, оборудованы приборами для мониторинга концентрации озона. Сравнение данных, полученных до и после землетрясений, позволяет выявить аномалии в распределении озона, которые могут служить индикаторами возможных землетрясений.

Наземный мониторинг: Использование наземных станций для измерения концентрации озона и других атмосферных параметров позволяет осуществлять более точный мониторинг в пределах сейсмоактивных районов. Измерения проводятся с помощью озоновых анализаторов и специализированных датчиков, что позволяет отслеживать изменения в реальном времени.

Модели и прогнозы: На основе анализа озоновых аномалий разрабатываются математические модели, которые помогают прогнозировать возможность возникновения землетрясений. Эти модели учитывают тектоническую активность, электромагнитные поля, климатические факторы и другие параметры, что позволяет повысить точность прогнозирования.

Карты общего содержания озона по данным космического мониторинга

Данные космического мониторинга дают возможность получать детальную информацию о распределении озона в атмосфере Земли. Эти карты отображают, как концентрация озона меняется в различных регионах и в течение времени.

Практическое применение данных космического мониторинга озона

1. Анализ природных катастроф

Данные космического наблюдения за озоном позволяют отслеживать изменения в атмосфере, которые могут служить предвестниками природных катастроф, таких как землетрясения, ураганы и другие стихийные бедствия. Анализ этих данных помогает выявить аномальные изменения в концентрации озона, что может быть связано с тектоническими процессами или изменениями погодных условий, предшествующими катастрофам.

2. Оценка экологического состояния

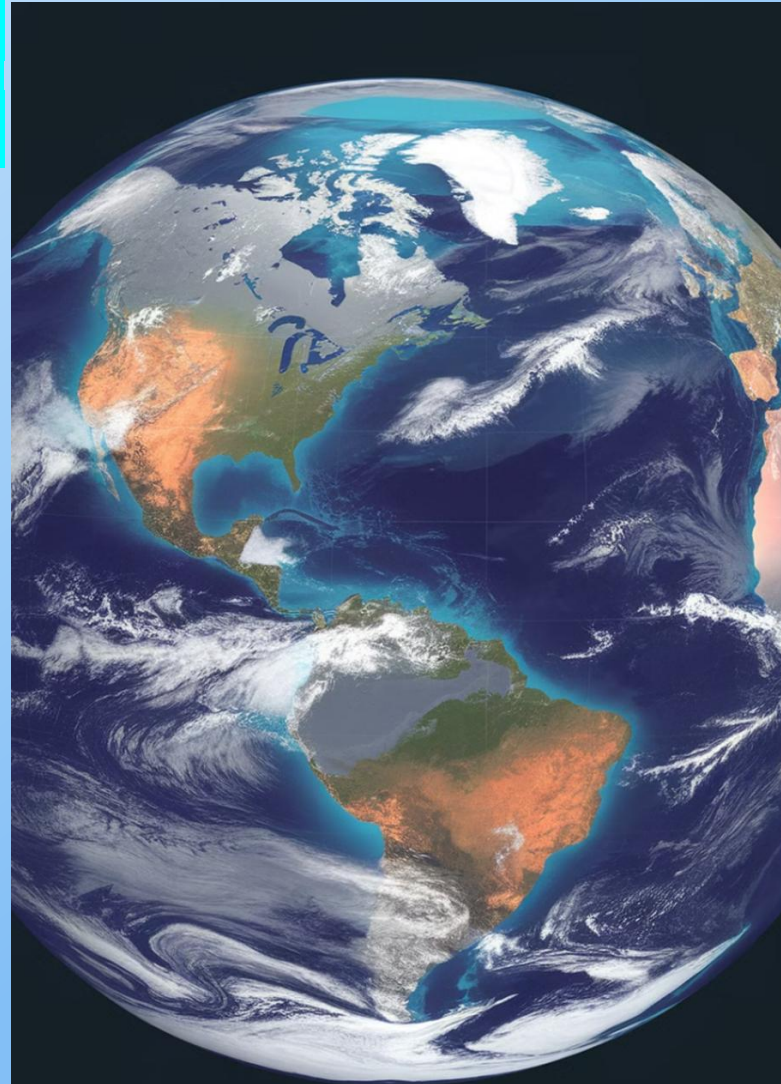
Мониторинг озона играет важную роль в оценке состояния окружающей среды. Он позволяет выявлять очаги загрязнения, отслеживать выбросы вредных веществ промышленными предприятиями и контролировать состояние озонового слоя. Своевременное выявление нарушений в этих процессах помогает минимизировать экологические риски и предпринимать меры по защите экосистем.

3. Поддержка принятия решений

Данные о распределении озона могут быть использованы органами власти и другими заинтересованными сторонами для разработки эффективных стратегий по охране окружающей среды. Это включает в себя меры по защите озонового слоя, уменьшению загрязняющих выбросов и предотвращению экологических катастроф. Такой подход способствует более обоснованному и научно обоснованному принятию решений в области экологической политики.

4. Повышение точности прогнозирования

Интеграция данных об озоне в метеорологические модели позволяет значительно повысить точность прогнозов погоды и предсказаний климатических изменений. Учёт концентрации озона помогает точнее оценить влияние атмосферных процессов на климат, а также предсказать возможные изменения в погодных условиях, что важно для своевременного реагирования и адаптации к изменениям климата.



Геофизические процессы, влияющие на содержание озона

Различные геофизические процессы, такие как солнечная активность, атмосферная конвекция и циркуляция, взаимодействие ионосферы и магнитосферы, играют ключевую роль в распределении и динамике озона в атмосфере Земли. Эти процессы влияют на интенсивность ультрафиолетового облучения, скорость фотохимических реакций и вертикальные потоки озона.

Солнечная активность, в частности, определяет интенсивность жесткого ультрафиолетового излучения, которое инициирует процессы фотолиза, формирующие и разрушающие озон. Колебания солнечной активности, включая солнечные вспышки, приводят к существенным изменениям содержания озона в различных регионах атмосферы

Из базы данных NOAA* были выбраны сильные землетрясения магнитудой от 7,0 до 9,0, произошедшие в Турции (17.08.1999), Иране (26.12.2003), Гаити (12.01.2010), Японии (11.03.2011), Коста-Рике (5.09.2012).

Анализ карт общего содержания озона основывался на данных космического мониторинга, полученных с помощью приборов TOMS/ Earth Probe и OMI/ Aura, представленных в открытом доступе на сайте NASA. Информация содержит значения общего содержания озона, измеряемые в единицах Добсона (1 е. Д. = 10^{-5} м)*, привязанные к географическим координатам.

На рис. 1 для примера приведены полученные карты общего содержания озона для территории Турции, где произошло землетрясение 17.08.1999 магнитудой 7,6 в 3:01 по местному времени, в районе г. Измир. Справа от рис. 1, б приведена цветовая шкала ОСО от 250 до 370 е. Д. Эта шкала справедлива для всех представленных на рис. 1 карт ОСО.

Координаты эпицентра землетрясения 40.760° с. ш. и 29.970° в. д., глубина гипоцентра – 17 км. Для выделения очаговой области была выбрана зона по широте в диапазоне $25\text{--}55^{\circ}$ с. ш. и по долготе – $5\text{--}55^{\circ}$ в. д. На рис. 1, а видно, что за 8 дней до землетрясения (9 августа 1999 г.) озоносфера над исследуемой локальной областью находится в «спокойном» состоянии, характерном для данной территории в августе, ОСО в точке, близкой к эпицентру, равно 283 е. д. 9 августа 1998 г. значение ОСО в данной точке было равно 282 е. д. На рис. 1, б за 3 дня до сейсмического события (14 августа 1999 г.) можно видеть, что общее содержание озона в эпицентральной области увеличилось, ОСО составило 309 е. д.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ВАРИАЦИИ ОЗОНА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

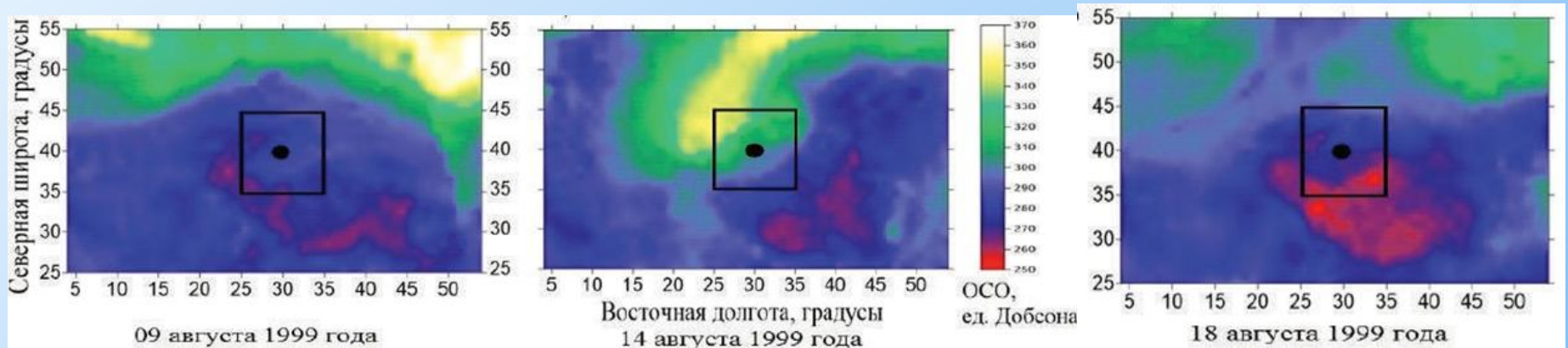


Рис. 1. Карты ОСО над очаговой областью турецкого землетрясения, «черной» точкой обозначен эпицентр землетрясения, квадратом – очаговая область

На рис. 1, в на следующий день после землетрясения (18 августа 1999 г.) можно наблюдать существенное уменьшение общего содержания озона в точке, близкой к эпицентру, до 278 е. д.

На основе анализа карт ОСО были уточнены размеры очаговой области, в которой определялись средние значения общего содержания озона.

Эта область расположена в зоне $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ с координатами по широте в диапазоне 35° – 45° и по долготе – 25° – 35° . График изменчивости ОСО над данной очаговой областью в период с 8 по 21 августа представлен на рис. 2. Стрелкой обозначена дата землетрясения. Как видно из графика рис. 2, с 9 августа, т. е. за 8 дней до землетрясения, началось повышение ОСО с 279 е. д. Увеличение общего содержания озона над очагом продолжалось 2 дня, и 11 августа ОСО составило уже 292 е. д. 12 августа, за 5 дней до сейсмического события, произошло уменьшение ОСО в очаге до 289 е. д.

«Озоновое облако» с повышенным содержанием озона существовало над очаговой областью с 12 по 16 августа (рис. 2). Непосредственно в момент землетрясения 17 августа наблюдалось уменьшение содержания озона,

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ВАРИАЦИИ ОЗОНА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

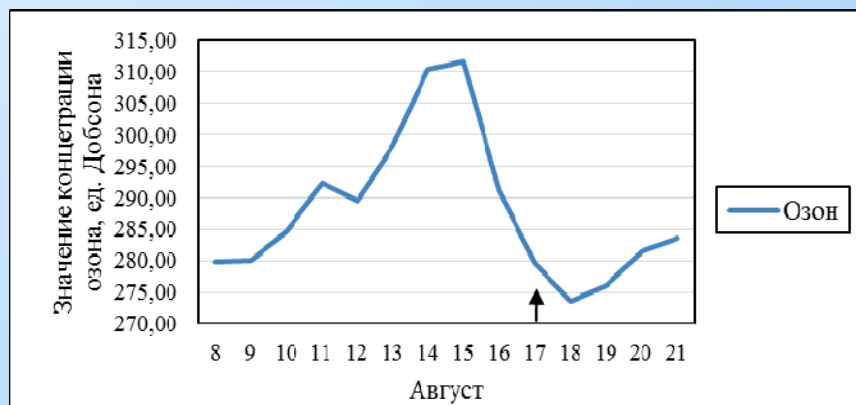


Рис. 2. График изменчивости ОСО над очаговой областью 10°×10° в августе 1999 г

равное 280 е. д., дальнейшее снижение содержания озона продолжалось и 18 августа. ОСО составило 274 е. д. После 18 августа в очаговой области происходило восстановление озонового слоя.

Таким образом, в работе на основе анализа карт общего содержания озона было выявлено «озоновое облако» с повышенным ОСО, существовавшее в период с 12 по 16 августа.

По картам ОСО уточнена очаговая область землетрясения размером 10×10 градусов, над которой сформировалось «озоновое облако».

В ходе исследования была разработана методика изучения состояния озонового слоя над сейсмоактивной областью, что позволило исследовать изменения концентрации озона и во время других землетрясений.

Экспериментальное подтверждение озоновых предвестников



По данным лабораторных исследований физиков *Университета Виргинии*, при симуляции землетрясения и разрушении породы, выделяется в 100 раз больше озона, чем по фоновым показателям.

"Даже небольшие трещины в скалах вызывают повышение уровня озона - говорит один из исследователей, Кэтрин Дьюкс (Catherine Dukes). – Вопрос в том, можно ли выявить повышение уровня газа в естественных условиях?" Если это будет возможным, смогут ли ученые предупреждать о надвигающихся землетрясениях?

Дьюк и ее коллеги провели эксперименты в лабораторных условиях с несколькими видами пород - магматическими и метаморфическими, включая базальт, гранит, гнейс и риолит, которые составляют около 95 процентов твёрдой литосферы Земли.

При раскалывании этих пород выделяется большой уровень озона, который превышает уровень окружающей среды. Пока точно неясно, почему при расколе породы выделяется столько газа, однако ученые предполагают, что это связано с изменениями электрического заряда между поврежденными поверхностями породы.

Экспериментальное подтверждение озоновых предвестников

Электроны от заряженных поверхностей породы разрушают молекулы кислорода (O_2) в воздухе, которые воссоединяются, образуя озон (O_3) на уровне земли. *"Это похоже на разряд молнии"* - говорит Дьюк.

Озон и землетрясение на Гаити

После разрушительного землетрясения на Гаити в 2010 году, геофизик Рамеш Син (Ramesh Singh) из *Университета Чапмена* с помощью спутников определил *повышение уровня озона в течение нескольких дней после катастрофы*. Пока неясно, вызвано ли было повышение уровня озона с повреждением породы, как утверждают ученые из Университета Виргинии, однако дальнейшие наблюдения помогут исследователям разгадать, какие физические процессы могут быть задействованы в данном случае.

"То, что удалось выяснить в лаборатории, возможно, поможет объяснить то, что показали спутники, - сказал Син. - Но Земля представляет собой очень сложную систему в рамках других систем".

Можно ли предсказать?

В конце концов, Дьюк и ее коллеги планируют посмотреть, будет ли замечена связь между движениями породы и повышением уровня озона, установив специальное оборудование для измерений (которое к тому же является не настолько дорогостоящим и его легко использовать) в тех областях разломобразования и где уровень фонового озона низкий.

Дьюк и Син подчеркивают, что **такие исследования пока не направлены на то, чтобы научиться предсказывать землетрясения**. Они лишь пытаются объяснить физические процессы, которые сопутствуют землетрясениям и другим природным явлениям.

"Наши исследования не помогут предсказывать землетрясения. Мы вряд ли сможем сказать, что раз мы обнаружили озон, вам срочно надо эвакуироваться, - говорит Дьюк. – Это всего лишь предупреждение о том, что земля движется, поэтому, возможно, это приведет к землетрясению, оползню или чему-то еще».

ПРЕДВЕСТИКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОЗОНОСФЕРЕ

ОБЩИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

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

Спектральная прозрачность атмосферы (СПА)* регистрируется по ряду длин волн (λ) и представляет отношение потока квазимонохроматического излучения $(S\lambda)^{**}$, 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, λ) : $P\lambda = (S\lambda/S_0, \lambda)1/m$, 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 за 1973-82 гг. Все наблюдения производились на ст.Чарджоу (39°05сек.с.ш., 63°36сек.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 $P\lambda(j)$ определяется произведением весов на неравноточность и на полноту.

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

ПРЕДВЕСТИКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОЗОНОСФЕРЕ

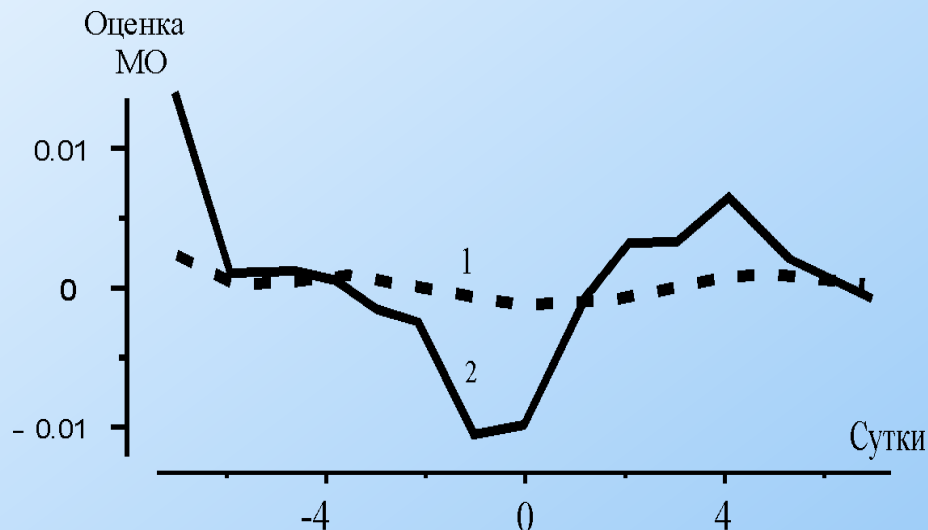


Рис. 1. Изменение оценок математического ожидания нормированной спектральной прозрачности атмосферы по двум длинам волн: 1 – 627, 2 – 344 нм.

Наблюдения в ультрафиолетовом диапазоне спектра связаны с функционирующей несколько десятилетий системой мониторинга озоносферы. Вполне обоснована диагностика сейсмоозонных эффектов и 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 атмосферы 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.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ СЕЙСМООЗОННЫХ ЭФФЕКТОВ

В спектре мощности вариаций анализируемых характеристик отчетливо проявилась многомодовая 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.

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.

Сейсмоозонные эффекты над Средней Азией

В поиске возможных сейсмогенных эффектов в состоянии озоносферы над Средней Азией использовалось 87 сильных землетрясений региона 1972-85гг. После исследования региональных климатических особенностей озоносферы (рис. 2) данные озонметрической 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.

Сейсмоозонные эффекты над Средней Азией

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.

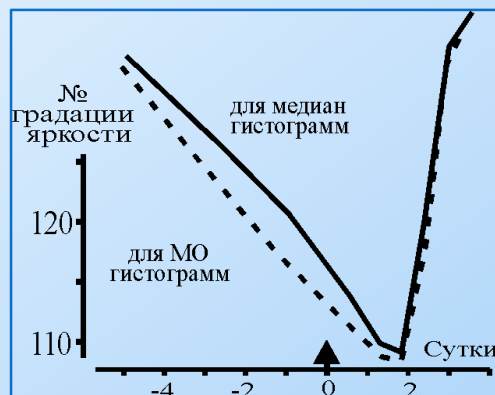


Рис. 3. Изменение медианы и математического ожидания гистограмм узловых значений восстановленных фрагментов

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 (сейсмоозонные эффекты) невелика. Для диагностики СОЭ в спектре вариаций озоносферы была увеличена длина анализируемых рядов озонометрии. В рассчитанных периодограммах проявился многомодовый характер и аномальное изменение мощности отдельных частот.

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.

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 Азией. Лучше всего сейсмоозонные эффекты проявляются весной при перестройке атмосферной циркуляции и повышенном ОСО.

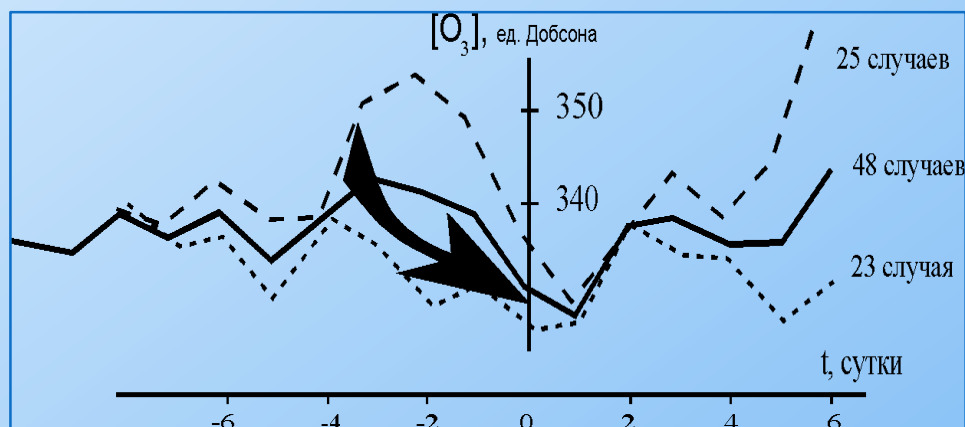


Рис. 4. Осредненные изменения ОСО над ст. Тбилиси. 48 случаев – многолетние средние, 25 случаев – зимний сезон, 23 случая – летний сезон.

С использованием критериев непараметрической статистики оценивалась случайность проявления предполагаемых предвестниковых эффектов. Для локальных максимумов подтвердилось увеличение повторяемости их появления за 3 суток до землетрясения.

Сейсмоозонные эффекты над Закавказьем

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 озонометрии. В рассчитанных периодограммах проявился многомодовый характер и аномальное изменение мощности отдельных частот (рис. 5).

Мощности вариаций на периодах $T=23$ суток, $T=5$, 8 и 10 суток, как и для СПА, значительно отличаются от фоновых вариаций.

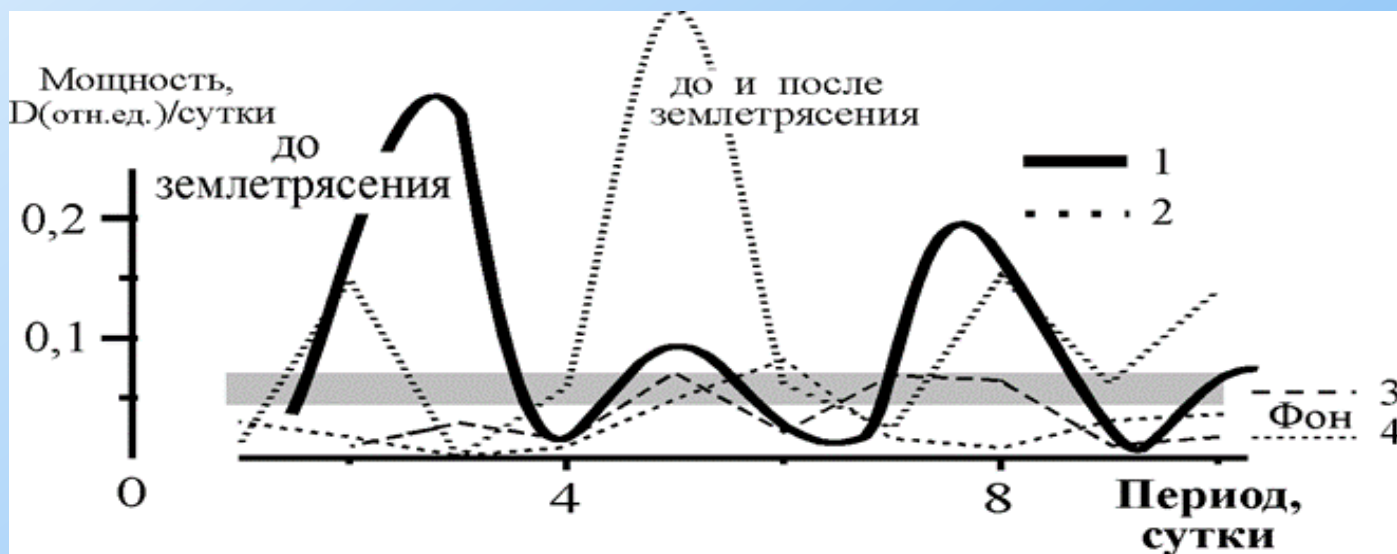


Рис. 5. Спектры мощности оценок математических ожиданий нормированных данных СОИ на станции Тбилиси:

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

Сейсмоозонные эффекты над Камчаткой

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 60 км, связанные с сейсмофокальной зоной, произошедшие вблизи от полуострова и вызвавшие его синхронные движения.

Дополнительные ограничения для отбора землетрясений связаны с наличием озонметрической 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 1973–89 гг. удалось отобрать 25 СЗ и 14 МЗ. 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. 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 $N=50-59$ 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.

Сейсмоозонные эффекты над Камчаткой

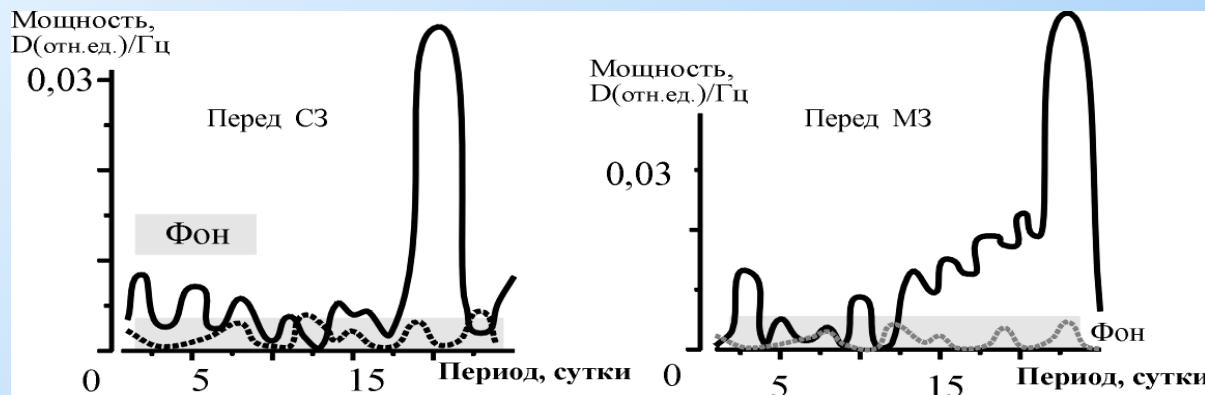


Рис. 6. Спектры мощности оценок повторяемости локальных максимумов в данных ОСО на станции Петропавловск-Камчатский перед сильными среднефокусными и сильными мелкофокусными землетрясениями региона и естественных вариаций.

Для локальных максимумов в данных озонотрии перед СЗ, выделяется достаточно 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 кратно 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. Но сложная геологическая структура региона существенно влияет на проявление сейсмоозонных эффектов.

По данным вертикального зондирования ОСО установлены неслучайные различия климатического распределения ВРО (вертикальное распределение озона) 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.

Сейсмоозонные эффекты над Татено (Япония)

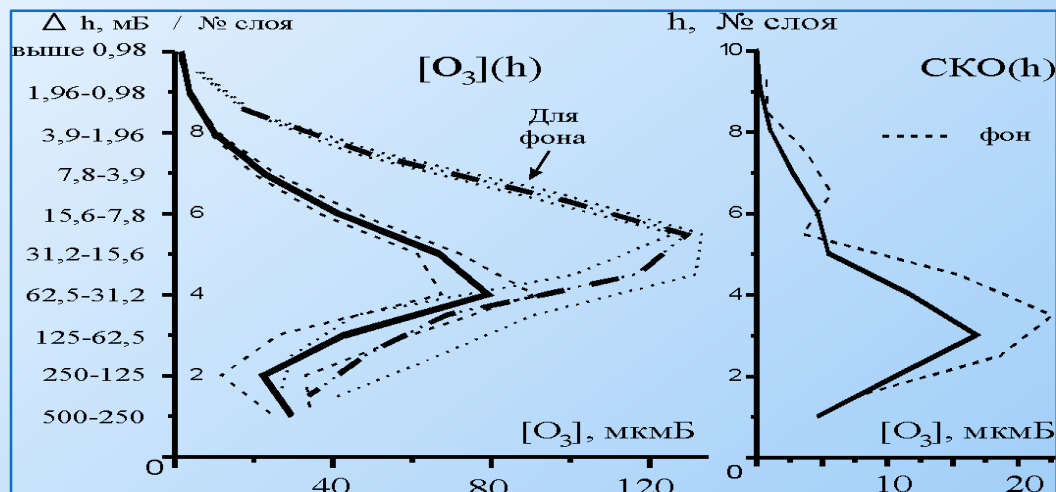


Рис. 7. Вертикальное распределение концентрации озона над станцией Татено

- для сейсмоопасных условий по 420 профил
- климатическое по 3869 профилям
- границы трубок $MO \pm \sigma$

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 сейсмотектонической аномалии. Этот эффект увеличивается при повышенной концентрации приземных аэрозолей.

Выводы

Выявленные тенденции изменения содержания озона над сейсмоактивными регионами (Средней Азии, 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.

Причины повышенных концентраций озона над очагами землетрясений.

1. Тектонические процессы и выход литосферных газов: Перед землетрясениями часто происходят тектонические процессы, связанные с движением земных плит и блоков. Это может приводить к выбросу различных газов, таких как радон, из земной коры в атмосферу. Эти газы могут взаимодействовать с другими химическими веществами в атмосфере, что приводит к образованию озона и повышению его концентрации.

2. Электрические процессы: Во время землетрясений и в предшествующий период может происходить изменение электрических полей в атмосфере, что влияет на химические реакции, приводящие к образованию озона. Например, электрические разряды, возникающие при тектонических движениях, могут стимулировать процессы, способствующие увеличению концентрации озона.

3. Механические и физические воздействия: Сильные землетрясения могут вызывать механическое воздействие на атмосферу, что также может приводить к повышению концентрации озона. Например, разломы и трещины в земной коре могут менять воздушные потоки, что способствует образованию озона в атмосфере.

4. Атмосферная турбулентность: Землетрясения могут вызывать изменения в атмосферной турбулентности и воздушных потоках, что может влиять на распространение озона. Эти изменения могут приводить к накоплению озона в определенных областях, особенно над эпицентром землетрясения.

В целом, изменение содержания озона в атмосфере до, во время и после землетрясений представляет собой сложный и пока малоизученный процесс, который требует дальнейших исследований. Возможность использования озоновых аномалий как предвестников землетрясений открывает новые перспективы в области прогноза природных катастроф. Однако для точных предсказаний необходимо накопить больше данных и усовершенствовать методы мониторинга.

На данный момент связь между повышенными концентрациями озона и землетрясениями остаётся предметом активных научных исследований. Чтобы точнее понять механизмы этого явления и использовать озоновую аномалию для прогноза землетрясений, требуется дальнейшее изучение.

Вопросы по закреплению содержания лекции 8

- ❑ Карты общего содержания озона по данным космического мониторинга. Изменение содержания озона в атмосфере до, во время и после землетрясения в точках, близких к эпицентрам.
- ❑ Результаты лабораторных исследований физиков *Университета Виргинии* по симуляции землетрясения, разрушении породы и выделении озона. Причины повышенных концентраций озона над очагами землетрясений.
- ❑ Связь между движениями породы и повышением уровня озона на примере разрушительного землетрясения на Гаити в 2010 году.
- ❑ Спектральная прозрачность атмосферы (СПА). Определение и механизм образования. Параметры спектральной характеристики волн.
- ❑ Чувствительность ультрафиолетового диапазона спектра к сейсмической опасности.
- ❑ Сейсмоозонные эффекты над Средней Азией. Набор вариаций ОСО (общего содержания озона). Методика расчетов и критерии оценки случайности проявления предполагаемых предвестниковых эффектов.
- ❑ Диагностики СОЭ (сейсмоозонные эффекты) Закавказья. Вариации ОСО до и во время землетрясений.
- ❑ Сейсмоозонные эффекты над Камчаткой. Параметры очагов землетрясений. Наличие озонметрической информации в интервале – 50...+10 суток от даты землетрясения.
- ❑ Спектры мощности оценок повторяемости локальных максимумов в данных ОСО на станции Петропавловск-Камчатский перед сильными среднефокусными и сильными мелкофокусными землетрясениями региона и естественных вариаций.
- ❑ Сейсмоозонные эффекты над Татено (Япония). Вариации содержания озона в атмосфере. Повышение уровня электромагнитного излучения по результатам изменения напряженно-деформированного состояния горных пород и трещинообразование.

Библиография

1. Звягинцев А.М. , Н.С. Иванова Н.С., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И. , . Никифорова М.П. Мониторинг общего содержания озона и УФ-облученности: основные результаты// «Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем», Том 28, № 6, 2017г. С. 85–98.
2. Кашкин В. Б. , Романов А. А. . Аномальное поведение атмосферного озона в период Алтайского землетрясения 2003 г;
3. Тертышников А.В. Эффекты сейсмоозонных связей над очагами сильных землетрясений//Физика Земли. 1995, № 9. С.66-71.
4. Тертышников А.В. Сейсмоозонные эффекты и проблема прогнозирования землетрясений. – СПб.: ВИКА, 2000. 304 с.
5. Тертышников А.В. Сейсмоозонные эффекты Закавказья//Физика Земли. 1994, № 5. С.53-61.
6. Тертышников А.В. Организация прогнозирования природных чрезвычайных ситуаций. Учебное пособие. – Москва, 2011. 268 с.
7. Национальный Центр экологической информации США (NOAA) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/> (дата обращения 05.04.2016).
8. Файлообменный ресурс NASA [Электронный ресурс]. URL: <ftp://jwocky.gsfc.nasa.gov/pub/> (дата обращения 05.04.2016).

Благодарю за внимание!

Thank you for your attention!

Назарларыңызға рахмет!