

В.И. Акселевич, А.В. Тертышников

СЕЙСМОПРОЗРАЧНОСТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Рассмотрена основная задача сейсмоэкологии – прогноз сильных землетрясений. Исходя из известных предвестников землетрясений в литосфере и атмосфере, сделан вывод о возможности поиска эффектов сильных землетрясений в характеристиках спектральной прозрачности атмосферы. Проанализированы изменения статистических характеристик спектральной прозрачности до и после ряда сейсмических явлений. Предложено использовать космические системы для наблюдений за спектральной прозрачностью атмосферы.

Вопросы организации эффективного экологического мониторинга ограниченных территорий весьма многогранны и включают в себя широкий спектр проблем, связанных с обеспечением безопасных условий жизни на Земле. В последнее время в экологии достаточно активно развивается такое направление, как сейсмоэкология. В ее основе – прогноз сильных землетрясений и диагностика состояния геофизических полей в различных оболочках Земли.

В теории солнечно-земных связей используются 2 основных подхода для объяснения механизмов взаимодействия возмущений геофизических полей. Они основаны на теории распространения внутренних гравитационных волн (ВГВ) и инфразвука в атмосфере и на взаимодействии через возмущения электромагнитного поля Земли.

В настоящее время накоплен достаточно обширный материал по возмущениям состояния геофизических полей перед землетрясениями – предвестникам землетрясений.

Появление предвестников и эффектов последствия в состоянии геофизических полей отражает этапы сейсмического цикла и эволюции сейсмотектонической аномалии (СТА) [1]. Выделение предвестников усложняется естественной возмущенностью характеристик геофизических полей. Дополнительный источник информации для обнаружения и диагностики СТА может быть связан с анализом структуры возмущений контролируемых параметров.

В приповерхностной литосфере положение большинства предвестников сильных землетрясений ориентировано относительно СТА и проявляется в следующих аномальных изменениях [1]:

- характеристик естественного электромагнитного поля Земли;
- интенсивности и спектра акустической эмиссии;
- деформаций и напряжений приповерхностного слоя литосферы;
- электрического сопротивления горных пород и теллурических токов;
- магнитного поля;
- гравитационного потенциала;
- уровня микросейсм и скорости сейсмических волн;
- гидрогеохимического режима;
- температуры;
- радиационного фона.

В режиме собственных колебаний Земли обнаружено появление необычных сейсмогравитационных пульсаций. По неподтвержденным данным зоны подготовки сильных литосферных подводных землетрясений характеризуются повышенным уровнем воды.

В тропосфере к «метеорологическим» предвестникам сильных землетрясений относятся сеймоклиматические аномалии, появление над очагами подготовки землетрясений необычных длиноволокнистых предвестниковых перистых облаков [2], необычные пульсации давления, эффект сбоя равновесной зависимости изменений давления и температуры в приземном слое атмосферы [3], увеличение количества дней с густыми дымками и туманами, с ухудшенной видимостью [4], значительные барические градиенты между соседними регионами, приближение фронтальных разделов [5], необычные световые явления, яркие вспышки, молнии в атмосфере над СТА за несколько секунд или минут до основного события [6].

В стратосфере следует отметить исследования сейсмоозонных эффектов, увеличение потока ионизирующей компоненты космических лучей и заряженных частиц [7, 8].

С точки зрения экологического мониторинга заслуживают внимания метеорологические предвестники землетрясений, характеризующие состояние атмосферы. Замутнение атмосферы, увеличение повторяемости густых дымок и туманов, образование приземных циклонов на фоне малоградиентного размытого барического поля отмечаются за несколько дней до сильных землетрясений [4]. Но количественные характеристики этих эффектов не известны, поэтому предмет исследований представляемой работы был ограничен диагностикой характеристик спектральной прозрачности атмосферы (СПА) в надочаговых зонах сильных землетрясений до и после них.

Согласно [9] под термином СПА понимают отношение потока квазимонохроматического излучения, прошедшего через атмосферу к земной поверхности в виде параллельного пучка в направлении к вертикали Φ_0 , к потоку излучения тех же длин волн на верхней границе атмосферы Φ_v . СПА обозначается P_λ , где индекс соответствует длине волны.

Сеть станций измерения СПА была организована в СССР в 1969 – 1972 гг., и с этого времени данные о СПА публикуются в ежегодниках [10]. Однако эта информация в прямом виде непригодна для статистической обработки в связи с наличием в данных наблюдений большого количества пропусков. Они обусловлены методикой измерения СПА, предложенной в [9] и требующей наблюдений по Солнцу в безоблачные дни или через разрывы в облаках. Поэтому для количественной диагностики сейсмозрачных эффектов был выбран регион Средней Азии. В нем достаточно часто происходят сильные землетрясения и наблюдается наибольшее количество солнечных дней.

В результате анализа исходных данных по характеристикам СПА были сформированы 6 матриц. В них собраны 28 последовательностей наблюдений за СПА в период ± 7 дней от момента сейсмического события. Выбирались только достаточно сильные приповерхностные землетрясения Средней Азии в 1973 – 1982 гг.

Необходимо отметить, что в данных СПА все же оказалось большое число пропусков наблюдений. В пяти случаях несколько дней с последовательностью землетрясений, произошедших в течение нескольких дней, пришлось объединить в один общий «реперный» день. В качестве исходных материалов использовались данные по СПА из ежегодников [10] для станции Чарджоу (39°05' с.ш., 63°36' в.д.) и данные о сейсмическом режиме из [11] для региона Средней Азии. Данные измерений СПА соответствовали длинам волн: 344, 369, 463, 530, 572 и 627 нм. Образец исходной информации для заданной длины волны представлен в таблице.

Спектральная прозрачность атмосферы $P_\lambda \cdot 100$ на участке спектра 344 нм

N п/п	Дата	Магнитуда	Дни														
			-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
1	08.02.73	–	00	00	00	40	00	00	43	42	00	43	47	47	48	48	44
2	18.02.73	5,1	47	47	48	48	44	48	46	46	48	00	38	00	00	45	47
3	14.04.73	4,5	46	47	00	00	00	45	37	34	41	46	43	00	42	46	38
4	21.04.73	4,5	34	41	46	43	00	42	46	38	00	00	00	00	39	39	38
5	08.05.73	4,5	00	43	43	00	00	40	37	40	42	45	41	41	45	46	39
6	01–10.06.73	5,5	00	44	47	47	48	47	46	39	41	43	46	43	40	41	38
7	11.08.73	4,6	47	43	41	48	44	43	42	43	49	48	48	47	46	46	41
8	01.09.73	4,5	45	43	49	49	43	40	47	45	00	46	49	45	00	44	51
9	11–14.09.73	4,5	44	45	00	44	51	48	37	48	51	49	47	46	46	45	00
10	12.10.73	5,6	41	40	42	39	39	46	35	39	42	00	46	49	50	00	39
11	24.10.73	4,5	50	00	39	47	48	47	47	48	47	45	00	46	38	00	48
12	03.06.74	5,1	48	43	47	45	44	44	47	42	00	41	43	42	41	00	49
13	02–05.07.74	5,0	44	43	43	44	43	00	46	47	43	41	44	44	44	44	48
14	23.07.74	4,8	45	41	45	49	00	00	00	48	49	48	45	43	00	00	51
15	29.07.74	4,6	00	48	49	48	45	43	00	00	51	00	00	52	52	48	00
16	09.06.75	5,7	00	42	43	40	00	00	41	32	27	00	36	42	41	44	40
17	26.06.75	4,8	40	44	45	41	46	44	36	42	42	42	46	44	47	45	00
18	28–31.07.75	5,1	39	38	43	48	45	44	38	42	46	45	41	47	44	44	44
19	09.09.75	5,8	54	46	47	00	50	48	45	00	39	00	38	40	45	43	46
20	17–20.06.76	5,3	44	43	46	44	00	40	43	42	40	44	41	42	44	39	36
21	03.08.76	5,7	49	47	44	49	00	48	49	47	48	49	49	00	46	49	44
22	03.09.76	5,3	83	00	51	47	42	41	45	46	41	43	42	46	47	44	00
23	14.07.77	6,1	43	00	42	42	32	00	46	48	52	49	45	49	48	45	49
24	08.10.78	6,0	46	00	42	41	00	44	37	41	39	42	48	45	42	34	00
25	19.10.78	5,1	45	42	34	00	45	00	35	39	40	41	00	38	46	00	00
26	10.07.79	4,6	49	43	39	38	41	38	45	44	43	45	11	48	41	46	45
27	31.05.82	–	33	00	39	31	00	00	00	31	29	28	00	29	31	32	35

Для повышения однородности ряда наблюдений за СПА проводилось нормирование:

$$Y_{ij} = (X_{ij} - \bar{X}_i) / \sigma_i, \quad (1)$$

где Y_{ij} – нормированная величина i -й строки, связанной с i -м землетрясением; X_{ij} – соответствующая ненормированная характеристика; \bar{X}_i – математическое ожидание i -й строки; σ_i – среднеквадратическое отклонение i -й строки.

Дни пропусков заранее фиксировались и учитывались в дальнейшей обработке нормированных значений СПА. Неоднородность данных СПА учитывалась еще и через весовые коэффициенты на неравноточность наблюдений, и через коэффициент «полноты данных». Неравноточность в «обобщенном портрете» сейсмопрозрачных эффектов учитывалась через соотношение

$$\bar{Y}_j = \sum_{i=1}^{28} Y_{ij} \left[\frac{1}{\sigma_i} \left(\sum_{i=1}^{28} \frac{1}{\sigma_i} \right) \right], \quad (2)$$

где \bar{Y}_j – усредненная по столбцу величина в фиксированный j -й день по всем 28 случаям; σ_i^2 – дисперсия нормированной СПА для каждой строки (случая). Полнота данных в столбце j корректировалась коэффициентом (P_j):

$$P_j = (28 - n_j) / 28, \quad (3)$$

где n_j – число пропусков в j -м столбце. Дополнительное предположение заключалось в том, что общий вес усредненного за j -й день наблюдения определялся произведением указанных весовых коэффициентов на неравноточность и на полноту в столбце. Статистическая обработка данных озонотрипы по этой схеме была признана удачной в [7].

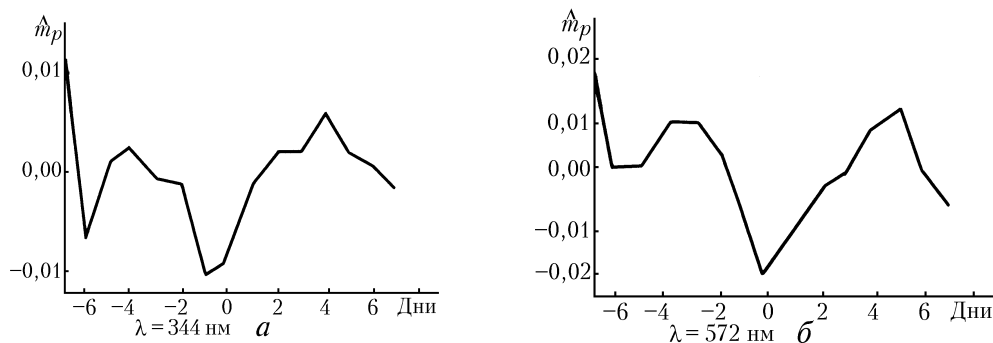


Рис. 1. Математическое ожидание нормированной СПА для участков спектра 344 и 572 нм в сейсмогенной последовательности. (Землетрясение отмечалось в нулевой день)

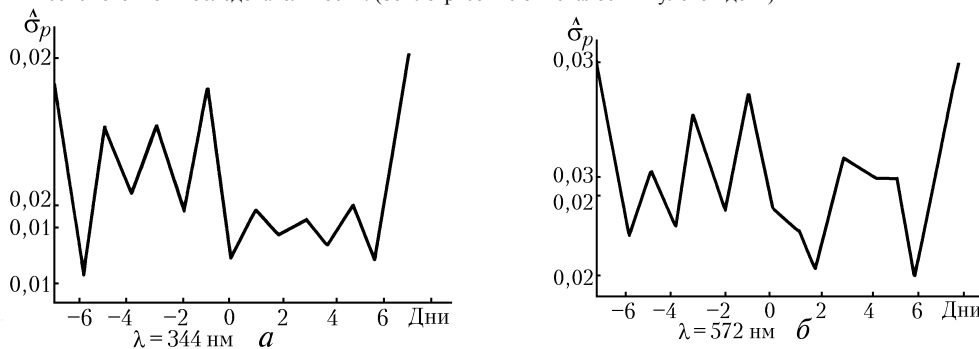


Рис. 2. Среднеквадратическое отклонение нормированной СПА для участков спектра 344 и 572 нм в сейсмогенной последовательности. (Землетрясение отмечалось в нулевой день)

В результате использования описанной схемы расчетов были получены характеристики сейсмопрозрачных эффектов по шести указанным длинам волн. В качестве примера полученных результатов на рис. 1 изображены «портреты» математического ожидания, а на

рис. 2 – средне квадратического отклонения нормированных и «взвешенных» данных СПА по двум длинам волн: 344 и 572 нм.

Анализ графиков позволяет сделать интересные выводы в отношении возможности использования СПА и ее статистических характеристик для сейсмоэкологического мониторинга ограниченных территорий.

1. На более коротких волнах ($\lambda = 344, 369$ и 443 нм) минимум математического ожидания нормированного значения СПА отмечается за сутки до землетрясения, а на более длинных ($\lambda = 530, 572$ и 627 нм) в день сейсмического события.

2. Ход математического ожидания значительно более сглажен и показателен, чем ход среднеквадратического отклонения.

3. Суммарная энергия колебаний среднеквадратического отклонения (СКО) СПА до начала землетрясения, определяемая как площадь под соответствующей кривой, больше, чем после сейсмического события, а минимум СКО на «длинной» волне наступает позже, почти на два дня, от даты землетрясения.

Таким образом, замутнение атмосферы в день землетрясения в целом подтверждается. Об этом свидетельствуют расчеты с использованием критерия Стьюдента. В день землетрясения усредненное значение СПА выходит за границы 95%-го доверительного интервала.

Полученные результаты позволяют рассчитывать на включение задачи контроля измерений СПА в перечень конкретных задач космического природоохранения, приведенный в [12]. Выполнение этой задачи может производиться различными методами: спектрометрическими, фотографическими и телевизионными во всех 6 заданных участках спектра, а визуально-инструментальными в 4 длинноволновых участках спектра. Согласно [12] каждый из указанных методов имеет свои преимущества и недостатки при решении конкретных задач космического природоохранения и целесообразно комплексировать вышеназванные методы и проводить совмещенные пространственно-временные измерения.

Привлечение космических систем к косвенному слежению за сейсмическим режимом через диагностику изменений СПА может увеличить ряды наблюдений за СПА и выделить новые прогностические эффекты.

В целом следует отметить, что диагностика и мониторинг состояния прозрачности атмосферы позволяют получать косвенную информацию о сейсмическом режиме региона.

1. Добровольский И. П. Теория подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР, 1991. 218 с.
2. Sasaki Y. Earthquake forecasting method. Патент 4656867, США, МКИ G 01 W/00; G 01 V 1/00. 1987.
3. Садовский М. А. и др. // Прогноз землетрясений. 1986. N 6. С. 242–252.
4. Милькис М. Р. // Известия АН СССР. Физика Земли. 1986. N 3. С. 36–47.
5. Сытинский А. Д. Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами: Дис. ... докт. физ.-мат. наук. Л.: ААНИИ, 1985. 206 с.
6. Гохберг М. Б., Моргунов В. А., Похотелов О. А. Сейсмoeлектромагнитные явления. М.: Наука, 1988. 175 с.
7. Акселевич В. И., Тертышников А. В. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 7. С. 1090–1096.
8. Пананджян В. Г., Миранян Ф. П., Геодакян Э. Г., Мелик-Алавердян Ю. Г. // Изв. АН Арм.ССР. Науки о Земле. 1989. 42. N 3. С. 67–71.
9. Гушин Г. П. Методы, приборы и результаты измерения спектральной прозрачности атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 200 с.
10. Общее содержание озона и спектральная прозрачность атмосферы. Справочные данные по СССР за 1973–1988 гг. / Под ред. Г. П. Гушиной. Л.: Гидрометеоздат, 1978–1990.
11. Землетрясения в СССР в 19... Ежегодники. М.: Наука.
12. Савиных В. П. Визуально-инструментальные исследования Земли с пилотируемого космического комплекса. М.: Недра, 1991. 110 с.

Российский государственный гидрометеорологический институт,
Санкт-Петербург

Поступила в редакцию
27 ноября 1995 г.

V. I. Akselevich, A. V. Tertyshnikov. **Seismologic Transmittance Effects in Ecology Monitoring.**

The main task of seismoecology – the forecast of strong earthquakes – is treated in the paper. The well-known lithosphere and atmosphere earthquake forerunners are listed. The estimation of expediency of using the spectral transmittance of the atmosphere as the forerunner is conducted. The statistical characteristics of the spectral transmittance variations before and after the seismic event are analyzed. We propose to apply the space systems to indirect observation of seismic behaviour through the fixation of observable variations in the spectral transmittance of the atmosphere.