

РАДИОФИЗИКА ГЕОКОСМОСА

УДК 550.388.2, 551.610.51 А. В. СОИНА¹, Г. П. МИЛИНЕВСКИЙ², Ю. М. ЯМПОЛЬСКИЙ¹

¹ Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: aditu@rian.kharkov.ua

² Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
ул. Владимирская, 64/13, г. Киев, 01601, Украина
E-mail: genmilinevsky@gmail.com

СЕМИДНЕВНЫЕ ВАРИАЦИИ В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ

Представлены результаты поиска недельной цикличности в поведении аэрозольной оптической толщи, измеренной на длинах волн 440 и 870 нм, параметра Ангстрема (440/870) и осажденной воды в атмосфере для пяти европейских городов. Анализ проводился по данным сети AERONET за период с 2009 по 2011 г. В результате исследований были установлены проявления уикенд-эффекта для всех анализируемых параметров с максимальными значениями в четверг–субботу.

Ключевые слова: уикенд-эффект, аэрозоли, аэрозольная оптическая толщина, осажденная вода, параметр Ангстрема, антропогенное воздействие

1. Введение

Влияние земной цивилизации на окружающее пространство проявляется в ежегодном росте объемов загрязняющих выбросов, в частности, в виде аэрозолей, которые способны в результате атмосферной циркуляции переноситься на большие расстояния и оказывать заметное влияние на состояние атмосферы различных регионов Земли. Всего в мире за год выбрасывается примерно 10^8 т техногенных аэрозолей [1]. Особенно заметно их влияние в наиболее густонаселенных промышленных районах [1]. Размеры аэрозольных частиц промышленного происхождения ($0.1 \div 1$ мкм) соизмеримы с длинами волн в оптическом диапазоне. Наиболее распространенными составляющими таких частиц являются сажа, соединения железа, цинка, свинца, различные смолы, которые являются канцерогенными веществами [2].

Как известно, атмосферный аэрозоль, оказывает существенное влияние на состояние атмосферы по двум причинам: во-первых, из-за прямого воздействия вследствие поглощения и рассеяния солнечного излучения, во-вторых, из-за опосредованного воздействия на погодные про-

цессы, проявляющегося в том, что аэрозольные частицы играют роль центров конденсации водяного пара и таким образом влияют на процесс формирования облаков. Облачный покров в свою очередь определяет поглощение и рассеяние видимого и инфракрасного излучения атмосферой и характеризует альбедо Земли [3, 4].

Настоящая работа посвящена проверке гипотезы, сформулированной в статье [5], о связи недельной цикличности глобальной грозовой активности, которая проявляется в вариациях интенсивности СНЧ шумов в планетарном масштабе, с выбросами аэрозолей техногенной природы. Напомним, что в этой работе был обнаружен уикенд-эффект в поведении интенсивности СНЧ шумов в планетарном масштабе. Для проверки гипотезы о причинах возникновения недельной цикличности в настоящей работе были проведены исследования по поиску семидневных вариаций в параметрах аэрозолей в атмосфере урбанизированного европейского региона.

Работы по поиску недельной цикличности содержания аэрозоля в атмосфере уже проводились другими авторами. Например, в статье [6] рассмотрены недельные вариации содержания аэрозолей по данным прямых измерений параметра PM_{10} – концентрации частиц с диаметром 10 мкм

и менее – для района вокруг города Атланта (Джорджия, США) в сравнении с частотой появления молниевых разрядов. В работе [7] представлены результаты проявления уикенд-эффекта для аэрозольной оптической толщи (АОТ), измеренной на длине волны 440 нм для 14 станций, расположенных в Центральной Европе. Обнаруженную недельную периодичность АОТ авторы связывают с антропогенной природой аэрозолей.

В отличие от предыдущих исследований в нашей работе анализируются трехлетние данные измерений (2009–2011 гг.) АОТ в двух спектральных каналах (440, 870 нм) и данные о содержании водяного пара в канале 936 нм. Был также проведен анализ недельных вариаций параметра Ангстрема, рассчитанного по измерениям АОТ на длинах волн 440 и 870 нм, позволяющего судить о размере аэрозольных частиц [8]. При обработке использовались данные 5 пунктов наблюдений сети AERONET [8], расположенных в Европе в широтном поясе $48^\circ \div 52^\circ$ с. ш. (табл. 1). Для сопоставления периодичностей в вариациях аэрозольных характеристик с планетарной электромагнитной обстановкой в статье проанализированы также вариации уровня электромагнитных шумов в резонаторе Земля–ионосфера, зафиксированные в эти же годы на Украинской антарктической станции (УАС) Академик Вернадский [9].

2. Методика исследования

Поскольку методика регистрации и обработки СНЧ полей на УАС Академик Вернадский подробно изложена в работе [5], в настоящей статье ограничимся только приведением результатов обработки вариаций уровней СНЧ полей.

Мониторинг аэрозольной составляющей атмосферы можно осуществлять с помощью спутников и наземных измерительных систем, которые объединены в глобальные сети. Одной из крупнейших

таких систем является сеть AERONET [8], которая основана на использовании автоматических солнечных фотометров типа CIMEL CE 318 (Франция), предназначенных для измерения прямой и рассеянной солнечной радиации на нескольких длинах волн в диапазоне от 340 до 1640 нм. С помощью специальных программ обработки данных наблюдений сети AERONET рассчитывается АОТ, количество осаждаемой воды, альbedo однократного рассеяния, параметры микроструктуры и другие характеристики аэрозолей [8, 10]. На данный момент сеть AERONET насчитывает около 200 постоянно действующих станций по всему земному шару [8]. После обработки данные размещают на сайте <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/> в авторизованном доступе, где представлены результаты обработки в трех уровнях. Первый уровень (Level 1.0) содержит данные всех проведенных измерений; второй (Level 1.5) – данные, которые прошли процедуру автоматической фильтрации влияния облачности; третий (Level 2.0) – данные после фильтрации влияния облачности и корректировки результатов с учетом повторной калибровки фотометра. Мы использовали данные Level 2.0.

Измерения прямой солнечной радиации проводятся с периодичностью около 15 мин. Результаты измерений каждого фотометра, входящего в сеть AERONET, передаются 2 раза в сутки по спутниковым каналам связи для обработки и размещения в сети Интернет [8].

Для поиска недельной цикличности в поведении атмосферных аэрозолей нами были выбраны 5 пунктов AERONET, расположенные в окрестностях городов: Париж, Мюнхен, Лейпциг, Бельск, Киев. Для всех пунктов анализ проводился по данным непрерывных трехлетних рядов наблюдений с 2009 по 2011 г. Учитывая то, что измерения могут проводиться только в дневное время суток, для обработки массивов данных был выб-

Таблица 1. Информация о расположении и населенности пунктов измерения аэрозольных данных

Пункт наблюдения	Координаты	Высота над уровнем моря, м	Население, млн чел.
Париж (Франция)	48°52'01" с. ш., 02°19'58" в. д.	50	2.274
Мюнхен (Германия)	48°08'52" с. ш., 11°34'22" в. д.	533	1.449
Лейпциг (Германия)	51°21'07" с. ш., 12°26'06" в. д.	125	0.510
Бельск (Польша)	51°50'13" с. ш., 20°47'31" в. д.	190	0.007
Киев (Украина)	50°21'50" с. ш., 30°29'49" в. д.	200	2.800

ран метод “наложения эпох”, который заключается в том, что исходный временной ряд разбивается на семидневные интервалы, затем рассчитываются среднеарифметические значения и среднеквадратичные отклонения (СКО) для каждого дня недели. По результатам вычислений строились зависимости АОТ, измеренной на длинах волн 440 и 870 нм – АОТ(440), АОТ(870), количества осажденной воды и параметра Ангстрема (440/870) как качественного показателя дисперсности частиц аэрозоля от дня недели с понедельника по воскресенье [11].

Поиск уикенд-эффекта проводился посредством усреднения результатов за три года и отдельно по каждому году. Статистическая обработка осуществлялась с применением пакета программ Grapher 8 [12].

3. Результаты обработки

В своих исследованиях мы проводили поиск зависимости АОТ от дня недели для территорий с интенсивной техногенной нагрузкой. Сведения о выбранных пунктах наблюдений представлены в табл. 1.

Следует отметить, что все выбранные пункты наблюдений (за исключением пункта Бельск), находятся в урбанизированных промышленных регионах и подвергаются интенсивному антропогенному воздействию. Основными техногенными источниками выбросов аэрозолей следует считать транспорт и промышленность. Эти две области человеческой деятельности подчиняются ритму семидневной недели с пятью рабочими днями (с понедельника по пятницу) и двумя выходными (суббота, воскресенье). В выходные дни производственная активность существенно снижается, и, следовательно, объемы выбросов аэрозолей в атмосферу также должны уменьшаться.

Одновременно с вариациями АОТ анализировались также количество осажденной воды в вертикальном столбе атмосферы, определенное в канале на длине волны 936 нм, и параметр Ангстрема (440/870) как показатель размеров частиц.

3.1. АОТ, измеренная на длине волны 440 нм

Величина АОТ(440) подвержена влиянию содержания в атмосфере двуокиси азота – вещества,

являющегося одним из основных загрязнителей атмосферы [13]. Влияние воздействия NO_2 на данные АОТ(440) в алгоритме AERONET в некоторой степени уменьшается в результате использования дополнительных данных спутниковых инструментов OMI, SCIAMACHY, GOME (см. AERONET Version 2 DSA, <http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>). Тем не менее при анализе АОТ для урбанизированных районов значения АОТ(440) можно рассматривать в том числе и в качестве индикатора локального антропогенного влияния. Диапазон значений АОТ(440) для Европы [7] колеблется в пределах от 0.05 до 0.45. Результаты статистического анализа поиска семидневной цикличности АОТ(440) для указанных пунктов наблюдения представлены на рис. 1.

Опишем недельный ход АОТ(440) для изучаемых регионов. В большинстве случаев наблюдается рост содержания аэрозолей в атмосфере к окончанию рабочей недели (четверг–пятница) и падение концентрации частиц в выходные дни. Исключение составляют данные наблюдений АОТ(440) в 2010 г. в Лейпциге (рис. 1, в), когда максимальные значения приходятся на воскресенье и понедельник, а минимум наблюдается в середине недели. Слабо выделяются недельные вариации АОТ(440) в 2010 г. в Киеве (рис. 1, д), что можно объяснить влиянием продуктов горения торфяников в Московской области, которые доставлялись с атмосферными массами в район Киева в августе 2010 г. [14]. Поэтому в 2010 г. наблюдались аномально большие значения АОТ(440) и большее чем в другие годы СКО измеренных величин.

3.2. АОТ, определенная на длине волны 870 нм

АОТ(870) находится вне основных молекулярных полос поглощения атмосферных газов, т. е. ее значение зависит только от концентрации аэрозолей в атмосфере. Результаты поиска недельной цикличности в динамике этого параметра для указанных пяти городов представлены на рис. 2.

В поведении АОТ(870) также можно видеть семидневную цикличность. Однако следует заметить, что характер временного хода несколько отличается для разных пунктов наблюдения. Так, в Париже, Мюнхене, Лейпциге (рис. 2, а–в) мак-

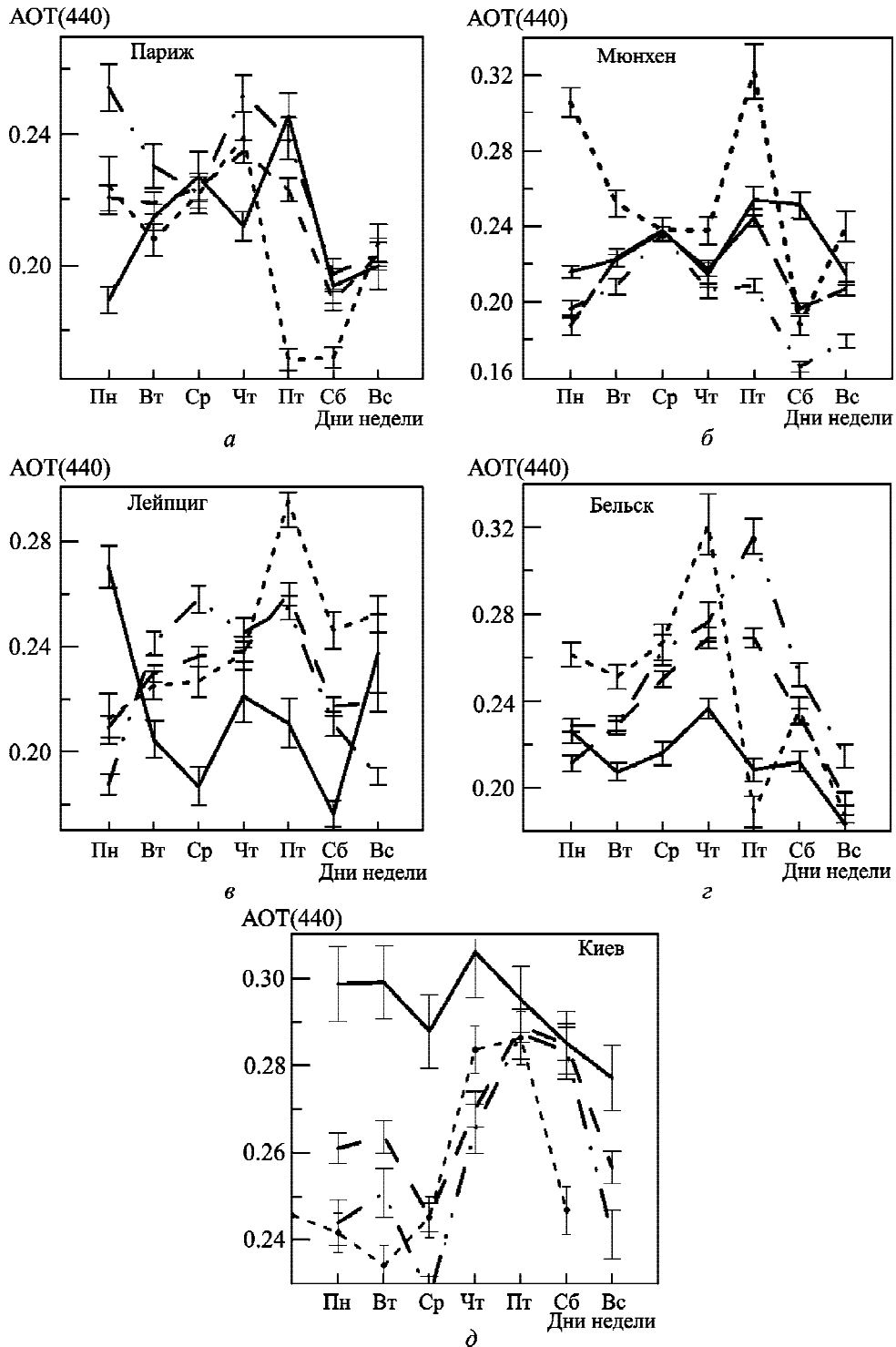


Рис 1. Недельный ход АОТ(440) для Парижа (а), Мюнхена (б), Лейпцига (в), Бельска (г) и Киева (д): - - - - в 2009 г., — — в 2010 г., - · - · - в 2011 г., - - - - усредненное значение за 2009–2011 гг.

симальные значения этого параметра регистрируются в четверг или пятницу, в то время как в Киеве (рис. 2, д) недельный ход АОТ(870) характеризуется ростом до максимального значе-

ния в субботу и падением в воскресенье. Минимум наблюдается в среду. В Бельске (рис. 2, г) недельные вариации выражены слабо, за исключением зависимости для 2009 г.

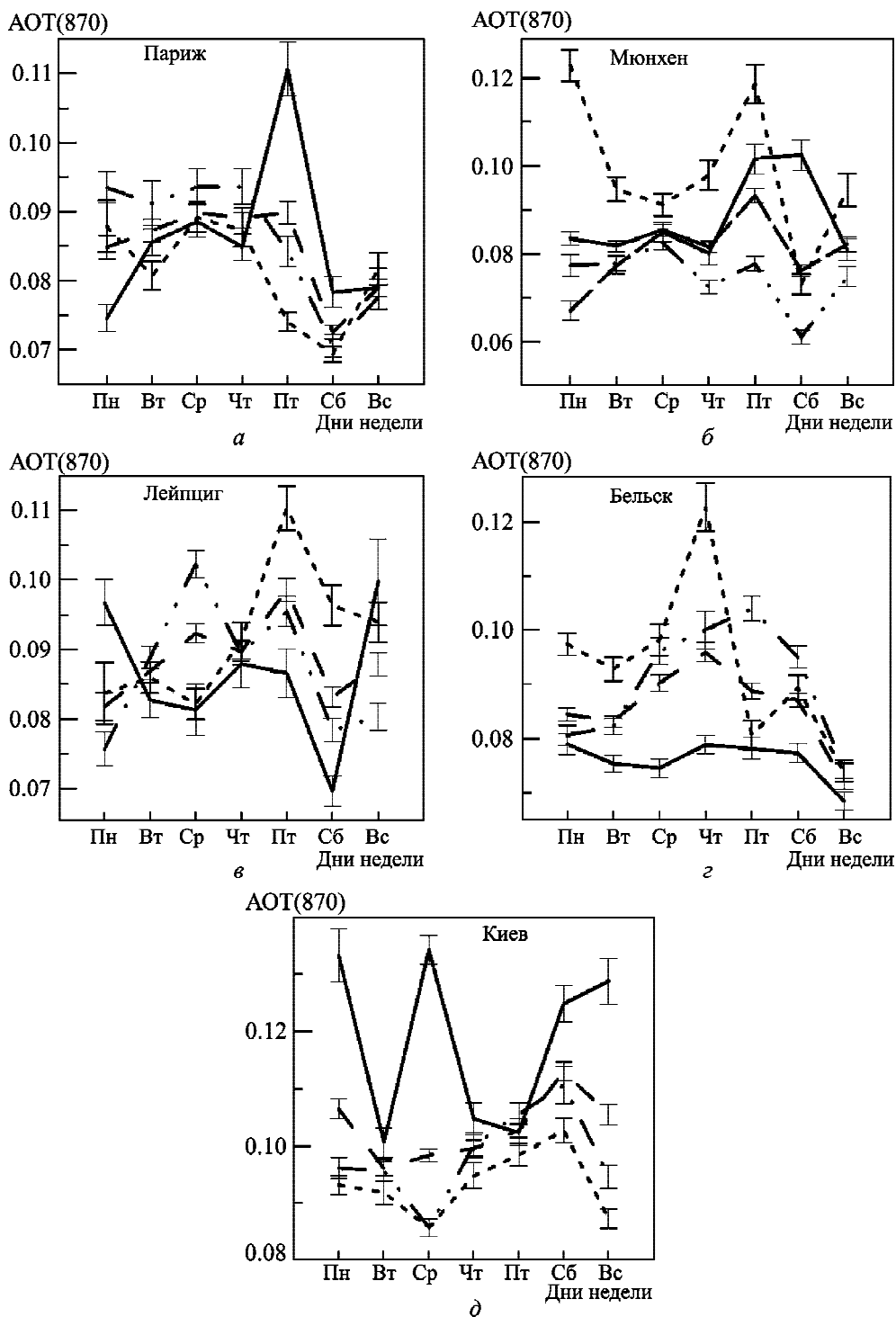


Рис. 2. Недельный ход АОТ(870) для Парижа (а), Мюнхена (б), Лейпцига (в), Бельска (г) и Киева (д) (обозначения те же, что и на рис. 1)

3.3. Осажденная вода (полоса поглощения 936 нм)

Важным фактором, оказывающим воздействие на погоду, является концентрация водяно-

го пара в атмосфере, которая может существенно менять радиационный баланс атмосферы Земли. Существует несколько полос молекулярного поглощения солнечного излучения водяным

паром. Толщина слоя осажденной воды (Precipitable Water Vapor, PWV) рассчитывается в сети AERONET по измерениям спектральной оптической толщины на длине волны 936 нм [15] и

обозначается $W(936)$. Рассмотрим особенности проявления недельной цикличности содержания водяного пара над выбранными городами (рис. 3).

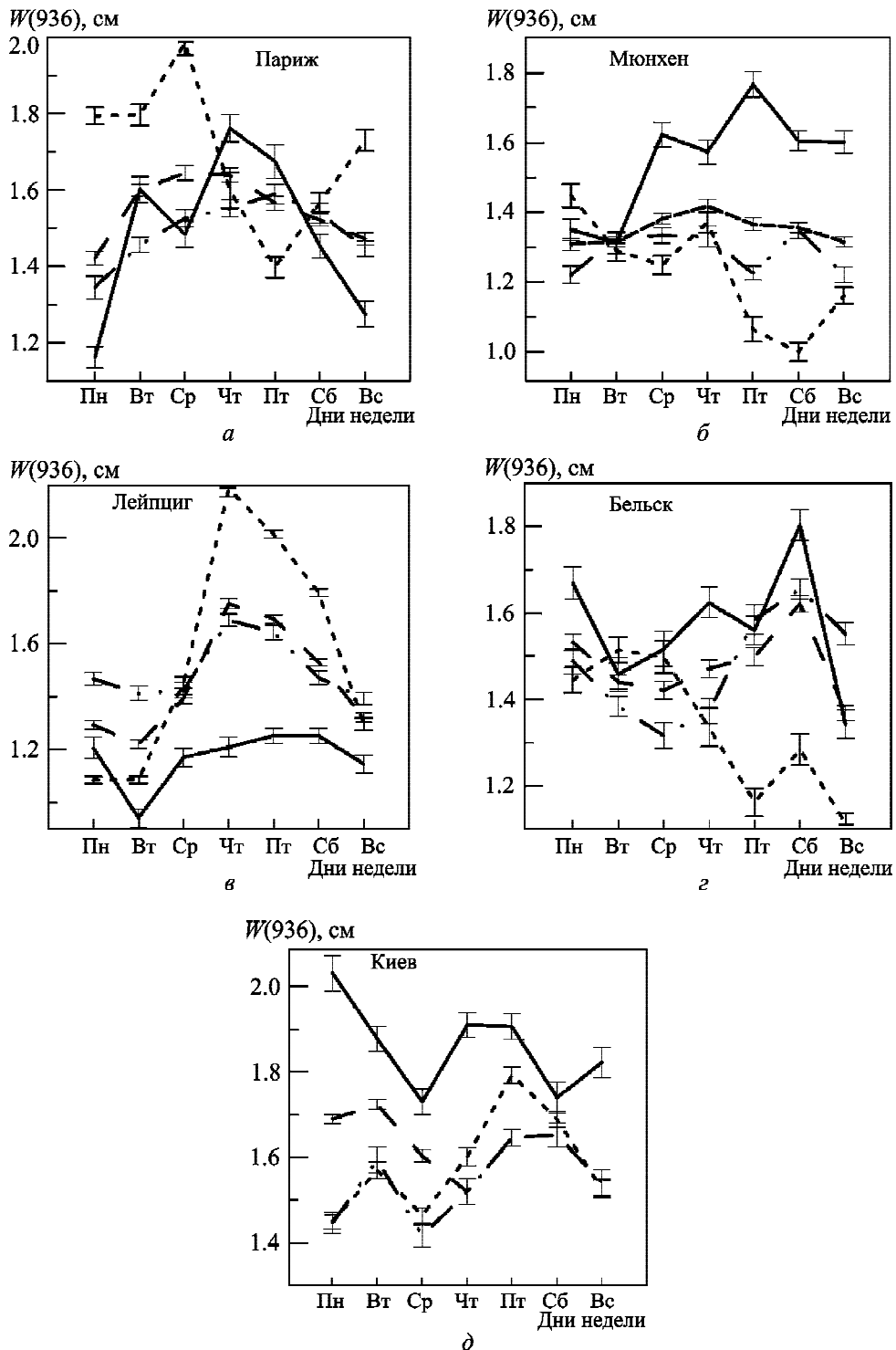


Рис. 3. Недельный ход количества осажденной воды $W(936)$ для Парижа (а), Мюнхена (б), Лейпцига (в), Бельска (г) и Киева (д) (обозначения те же, что и на рис. 1)

Изменение количества осаждаемой воды в течение недели для городов Париж, Лейпциг и Киев (рис. 3, а, в, д) отличается максимальными значениями в среду – пятницу и минимальными в воскресенье или понедельник. Для Мюнхена (рис. 3, б) прослеживаются различные максимумы для каждого года измерений: в 2009 г. максимальное значение наблюдается в субботу, в 2010 г. – в пятницу, в 2011 г. – в понедельник. В Бельске (рис. 3, з) недельная цикличность характеризуется максимальными значениями в субботу для всех периодов наблюдений, кроме 2009 г., когда максимумы наблюдаются во вторник–среду, а минимальные значения – в выходные дни.

3.4. Параметр Ангстрема (440/870)

Многолетние исследования в различных регионах Земли позволили установить, что естественные аэрозоли (микроагрегаты почв, солей и других природных образований) состоят из относительно крупных частиц и относятся к аэрозолям крупнодисперсной моды, а аэрозоли мелкодисперсной моды, как правило, имеют антропогенное происхождение (продукты горения биомассы, выбросы промышленных предприятий и др.) [16]. Таким образом, для того чтобы оценить техногенное влияние на окружающую среду в различных регионах важно иметь представление о том, какого размера частицы преобладают в атмосферных аэрозолях. Часто параметр Ангстрема используется как качественный показатель размера частицы аэрозоля. Параметр Ангстрема α рассчитывается с использованием измерений АОТ на двух длинах волн λ_1 и λ_2 ($\lambda_2 > \lambda_1$) по формуле
$$\alpha(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{\ln[\text{АОТ}(\lambda_1)/\text{АОТ}(\lambda_2)]}{\ln(\lambda_2/\lambda_1)} \quad [12].$$

Значение параметра α изменяется от 0 до 4. Значение $\alpha > 2$ указывает на преобладание в составе аэрозоля небольших частиц с размерами < 0.5 мкм, связанных, например, с побочными продуктами горения, а значение $\alpha < 1$ – на наличие преимущественно крупных частиц с размерами > 0.5 мкм, например, таких как морская соль или минеральная пыль [17]. Значение параметра Ангстрема близкое к 4 обозначает рассеяние света на молекулах воздуха. В атмосфере над Европой параметр Ангстрема изменяется в пределах от 0.5 до 1.4 [2].

Мы искали зависимость параметра Ангстрема от дня недели (рис. 4). В результате анализа значений параметра Ангстрема существенная

недельная цикличность была обнаружена для двух городов из пяти – для Киева и Лейпцига. В Киеве (рис. 4, д) максимальные значения α в 2009 и 2011 гг. наблюдаются в пятницу, в 2009 г. – во вторник, минимальные значения во всех случаях наблюдаются в понедельник. Для Бельска (рис. 4, з) значение α имеет небольшой максимум в четверг, что может свидетельствовать об увеличении концентрации мелкодисперсных частиц. Для Лейпцига (рис. 4, в) характерно отличие недельного хода в 2009 г. с максимальным значением в среду и минимумом в пятницу от зависимостей в 2010 и 2011 гг. с максимумами во второй половине недели.

3.5. Вариации СНЧ шумов

Как уже отмечалось выше, мы проводили поиск недельных периодичностей в поведении мощности СНЧ шумов в Антарктике в 2009–2011 гг. Следует отметить, что уровень шумов в этом диапазоне частот определяется глобальной грозовой активностью независимо от места расположения приемной станции. На рис. 5 приведены зависимости мощности СНЧ шумов в диапазоне частот $5 \div 25$ Гц от дня недели для двух горизонтальных компонент магнитного поля – “север–юг” (рис. 5, а) и “запад–восток” (рис. 5, б), и для суммарной мощности (рис. 5, в). Обработка массива данных проводилась с использованием метода наложения эпох по методике, изложенной в [5].

Как видно из приведенных гистограмм, максимальные уровни СНЧ шумов в этом частотном диапазоне приходятся примерно на середину недельного интервала (ближе к концу рабочей недели), а минимумы соответствуют выходным дням. Следуя выводам, сделанным в статье [5], можно предположить, что недельный цикл проявляется и в поведении глобальной грозовой активности, формирующей низкочастотный электромагнитный фон нашей планеты.

4. Обсуждение результатов

Для установления особенностей недельной цикличности в параметрах атмосферных аэрозолей проводился анализ недельного хода исследуемых параметров, представленного на композитных графиках для всех пунктов наблюдения на рис. 6. Величины, представленные на рис. 6, нормировались на свои максимальные значения. Штриховкой выделены дни с максимальными значениями

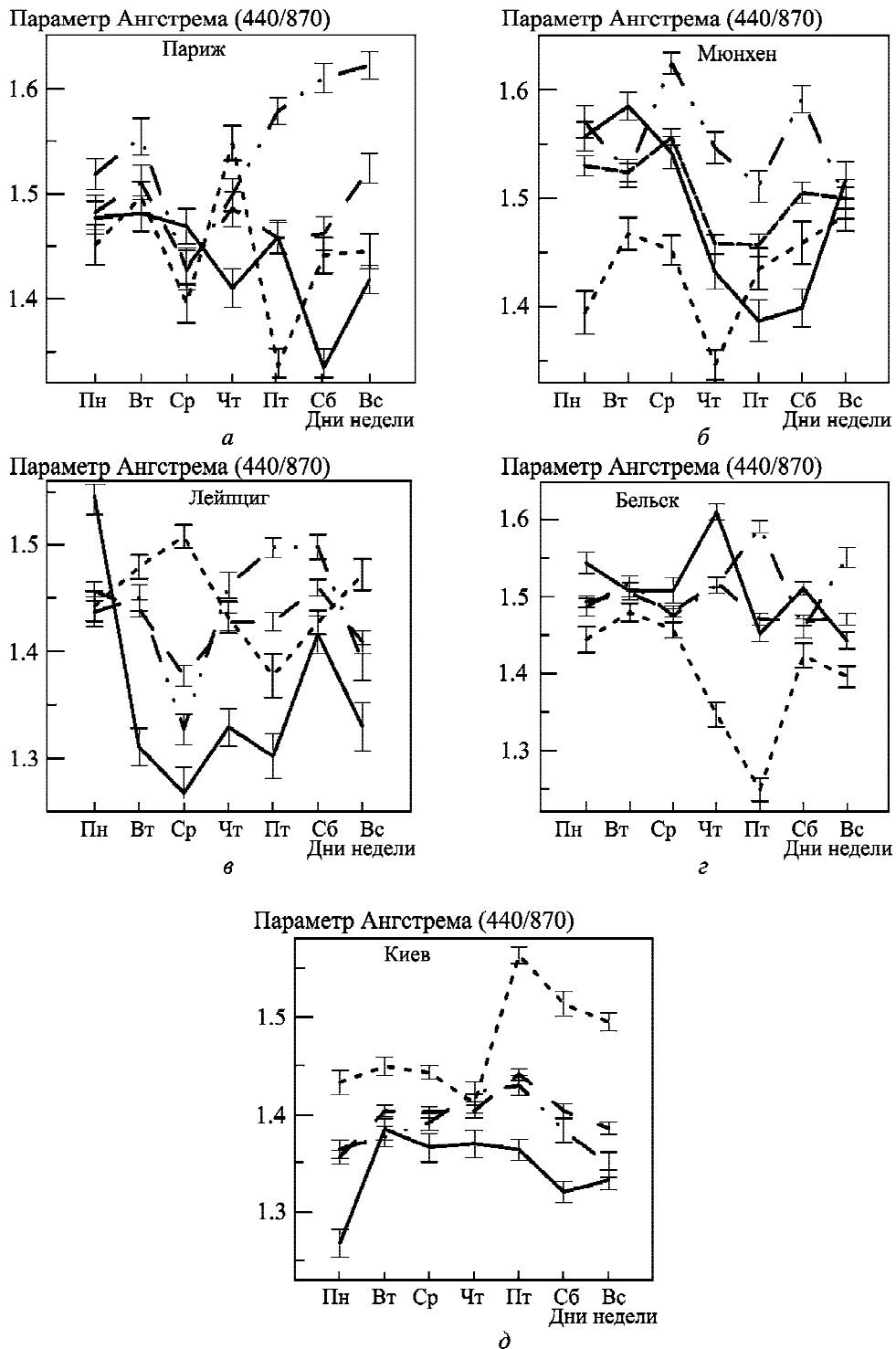


Рис. 4. Недельный ход параметра Ангрстрема (440/870) для Парижа (а), Мюнхена (б), Лейпцига (в), Бельска (г) и Киева (д) (обозначения те же, что и на рис. 1)

анализируемых параметров в конце недели (четверг, пятница, суббота).

К окончанию рабочей недели (четверг–пятница), как правило, практически во всех пунктах

растет содержание атмосферного аэрозоля. Затем в выходные дни его концентрация снижается. Причем такие изменения характерны как для АОТ, измеренной на длине волны 440 нм (рис. 6, а),

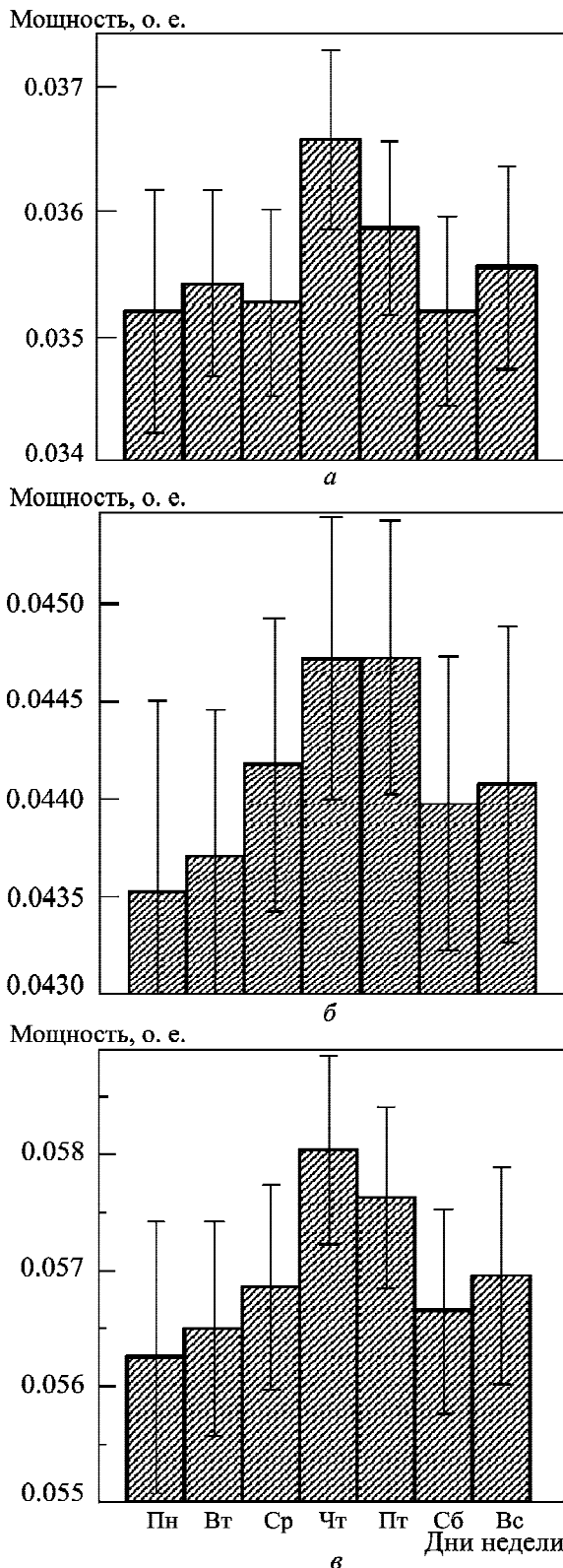


Рис. 5. Уикенд-эффект в уровне СНЧ шумов в частотном диапазоне 5 ÷ 25 Гц в 2009–2011 гг. по данным УАС Академик Вернадский: *а* – мощность для компоненты “север–юг”, *б* – мощность для компоненты “запад–восток”, *в* – суммарная мощность

так и для АОТ на длине волны 870 нм (рис. 6, б). Как известно, в современных городах одним из главных поставщиков аэрозоля является транспорт и теплоэнергетика. Можно предположить, что особенности недельного хода содержания в атмосфере аэрозоля для анализируемых регионов вызваны в первую очередь изменением интенсивности движения автотранспорта, а также изменением техногенной активности в выходные дни. Как следствие, наблюдается уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

В табл. 2 представлены максимальные значения оптических характеристик аэрозолей в атмосфере для выбранных пунктов наблюдений и соответствующие им дни недели. Следует отметить, что АОТ(440) для всех городов, кроме Парижа, достигает максимальных значений в пятницу. Максимум АОТ(870) также наблюдается в пятницу в Париже, Мюнхене и Лейпциге, а в Бельске приходится на четверг, что может быть связано с низкой степенью урбанизации этого города. В Киеве максимум АОТ(870) наблюдается в субботу.

Обнаружен уикенд-эффект и в вариациях количества осаждаемой воды для анализируемых городов. Максимальные значения этого параметра наблюдаются в середине либо в конце рабочей недели (рис. 6, в). В выходные дни в большинстве случаев количество осаждаемой воды уменьшается. Чаще всего над городами оно имеет максимальное значение в четверг. Исключение составляют Бельск и Киев. В Бельске пик этого параметра приходится на субботу, а в Киеве – на вторник.

Важен также поиск семидневной цикличности в дисперсности аэрозолей, которая выражена с помощью параметра Ангстрема, из-за преобладания в техногенных аэрозолях мелкодисперсных частиц. Недельный цикл параметра Ангстрема меняется из года в год и от города к городу. Лучше всего уикенд-эффект для этого параметра наблюдается в Киеве (рис. 6, г). Здесь виден заметный рост параметра Ангстрема (увеличение количества мелкодисперсной фракции аэрозоля) к пятнице, а затем его уменьшение в выходные дни. Обнаружен также недельный цикл этого показателя в Лейпциге и Бельске, его максимум в этих городах приходится на субботу и среду соответственно.

Следует отметить, что практически для каждого показателя, измеренного в Киеве, ход недельной цикличности в 2010 г. сильно отличается

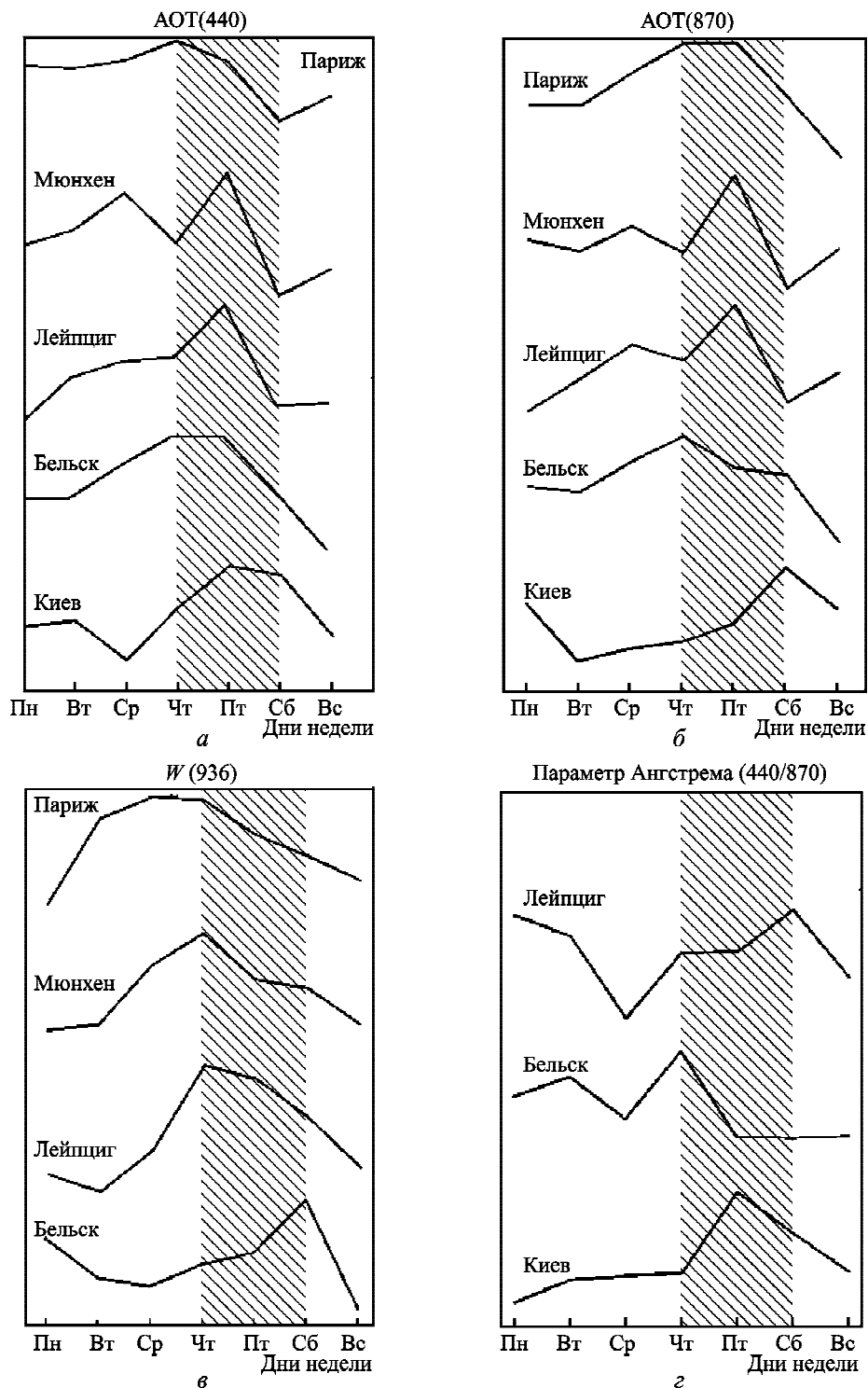


Рис. 6. Сравнительный анализ недельной цикличности АОТ(440) (а), АОТ(870) (б), W(936) (в) и параметр Ангрстрема (440/870) (г) для различных населенных пунктов

от недельного хода в 2009 и 2011 гг. Кроме того, в 2010 г. среднее значение АОТ выше, а значения СКО АОТ(440) и АОТ(870) больше чем в другие годы. Причиной такого поведения АОТ,

скорее всего, явились торфяные пожары, которые в 2010 г. происходили в России. Влияние этого события на концентрацию аэрозолей в атмосфере подробно описано в статьях [10, 13] по резуль-

Таблица 2. Максимальные значения различных оптических характеристик атмосферы

Пункт наблюдения	АОТ(440) (день недели)	АОТ(870) (день недели)	Осажденная вода, см (день недели)	Параметр Ангстрема (день недели)
Париж	0.2347 (Чт)	0.0898 (Пт)	1.6392 (Чт)	–
Лейпциг	0.2599 (Пт)	0.0986 (Пт)	1.7531 (Чт)	1.4603 (Сб)
Мюнхен	0.2446 (Пт)	0.0931 (Пт)	1.4178 (Чт)	–
Бельск	0.2689 (Пт)	0.9595 (Чт)	1.6213 (Сб)	1.5186 (Чт)
Киев	0.2890 (Пт)	0.1131 (Сб)	–	1.4804 (Пт)

татам анализа содержания аэрозолей в крупных городах западной Европы. Заметно также отличие недельного хода количества осажженной воды в 2010 г. от недельного хода в 2009 г. и 2011 г. Можно предположить, что причиной этого явления в Европе может быть также извержение вулкана Эйяфьядлайёкюдль в Исландии весной 2010 г. В результате активности этого вулкана было выброшено в атмосферу большое количество пепла, распространившегося на значительную часть Европы (см., например, [18]).

5. Выводы

Таким образом, в результате проведенного поиска недельной периодичности в поведении атмосферных аэрозолей по данным трехлетних наблюдений сети AERONET в пяти европейских городах было установлено следующее.

1. Подтверждено наличие уикенд-эффекта в поведении АОТ(440). Установлено, что в большинстве случаев максимальные значения этого параметра приходятся на окончание рабочей недели (четверг–пятница), а минимальные – на выходные дни.

2. Выявлен недельный ход АОТ(870). Характер семидневной цикличности в этом параметре подобен проявлению уикенд-эффекта в поведении АОТ(440). Семидневные вариации АОТ на длине волны 870 нм можно считать более убедительными, поскольку эта величина не “замывается” присутствием NO_2 в атмосфере как в случае АОТ(440).

3. Наблюдаются также квазисемидневные вариации параметра осажженной воды в атмосфере с максимальными значениями во второй половине недели. Проявление уикенд-эффекта в вариациях этого параметра, может быть вызвано непосредственно выбросами водяного пара от промышленных предприятий. Процесс парообра-

зования в атмосфере может усиливаться дополнительно из-за повышения температуры приземного слоя воздуха, стимулированного антропогенной активностью (тепловое загрязнение) [19].

4. Для нескольких пунктов наблюдений обнаружены недельные циклы в поведении параметра Ангстрема с увеличением его значений к концу рабочей недели, что может быть свидетельством роста концентрации мелкодисперсной фракции аэрозолей.

5. Следует отметить, что характер проявления уикенд-эффекта в 2010 г. отличается от недельной зависимости поведения характеристик атмосферных аэрозолей и осажженной воды в 2009 и 2011 гг. Возможными причинами такой аномалии могли служить продолжительные торфяные пожары в России и мощное извержение вулкана в Исландии, сопровождавшиеся интенсивными выбросами аэрозолей в окружающее пространство.

6. В результате сравнения поведения недельного хода мощности глобальных СНЧ шумов и семидневной цикличности аэрозольных параметров атмосферы европейских городов был установлен аналогичный характер проявления уикенд-эффекта в исследуемых зависимостях. И в первом, и во втором случае максимум приходится на четверг–пятницу, минимум – на выходные дни и понедельник. Таким образом, обнаружение недельной цикличности концентрации атмосферных аэрозолей, которые стимулируются увеличением и особенностями техногенной активности, подтверждает предложенную ранее гипотезу о причинах возникновения уикенд-эффекта в поведении интенсивности СНЧ шумов в планетарном масштабе [4]. Причинная связь этих явлений состоит в том, что глобальная грозозная активность, формирующая электромагнитный “климат” Земли в СНЧ–НЧ диапазоне, зависит от процессов испарения и формирования облач-

ного покрова, которые в свою очередь связаны с атмосферными аэрозолями.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта PICS 2013–2015 от CNRS (Национальный центр научных исследований, Франция) и НАН Украины и проекта 11BF051-01-12 Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Специальной комплексной программы космических исследований 2012–2016 гг. НАН Украины, а также в рамках НИР “Шпицберген-2014”. Авторы благодарны Б. Холбену (NASA/GSFC, США) за управление программой AERONET, руководителям станций AERONET в Париже, Мюнхене, Лейпциге, Бельске и Киеве за предоставленные данные. Признательны также А. В. Пазнухову и В. Е. Занимонскому за предоставленные данные и помощь в обработке результатов. Кроме того, выражаем благодарность участникам семинара Отдела радиофизики геокосмоса РИ НАНУ за плодотворные обсуждения материалов этой работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чекман И. С., Сырочая А. О., Андреева С. В., Макаров В. А. Аэрозоли – дисперсные системы: Монография. – Харьков: Цифрова друкарня № 1, 2013. – 100 с.
2. Ивлев Л. С., Довгалюк Ю. А. Физика атмосферных аэрозольных систем. – СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. – 194 с.
3. Penner J. E., Andreae M., Annegarn H., Barrie L., Feichter J., Hegg D., Jayaraman A., Leaitch R., Murphy D., Nganga J., and Pitari G. Aerosols, their direct and indirect effects. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* – Cambridge, UK, New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2001. – P. 289–348.
4. Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P., Bernsten T., Betts R., Fahey D. W., Haywood J., Lean J., Lowe D. C., Myhre G., Nganga J., Prinn R., Raga G., Schulz M., and Van Dorland R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* – Cambridge, UK, New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007. – P. 129–234.
5. Пазнухов А. В., Ямпольский Ю. М., Занимонский Е. М., Соина А. В. Поиск “уикенд эффекта” в вариациях интенсивности природных СНЧ шумов // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2012. – Т. 17, № 1. – С. 67–73.
6. Stallins J. A., Carpenter J., Bentley M. L., Ashley W. S., and Mulholland J. A. Weekend-weekday aerosols and geographic variability in cloud-to-ground lightning for the urban region of Atlanta, Georgia, USA // *Regional Environmental Change.* – 2013. – Vol. 13, Is. 1. – P. 137–151.
7. Bäumer D., Rinke R., and B. Vogel Weekly periodicities of Aerosol Optical Thickness over Central Europe – evidence of an anthropogenic direct aerosol effect // *Atmos. Chem. Phys.* – 2008. – Vol. 8, No 1. – P. 83–90.
8. Holben B. N., Eck T. F., Slutsker I., Tanré D., Buis J. P., Setzer A., Vermote E., Reagan J. A., Kaufman Y. J., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I., and Smirnov A. AERONET – A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization // *Remote Sens. Environ.* – 1998. – Vol. 66, Is. 1. – P. 1–16.
9. Колосков А. В., Бару Н. А., Буданов О. В., Пазнухов В. Е., Ямпольский Ю. М. Двухпозиционный (Антарктида–Украина) мониторинг глобальных электромагнитных резонансов Земли // *Український антарктичний журнал.* – 2011/2012. – № 10–11, – С. 121–127.
10. Dubovik O. and King M. D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // *J. Geophys. Res. Atmospheres.* – 2000. – Vol. 105, Is. D16. – P. 20673–20696.
11. Галицька Є. І., Данилевський В. О., Сніжко С. І. Стан забруднення аерозолем атмосфери над Києвом за дистанційними дослідженнями засобами AERONET та вплив на нього лісових пожеж улітку 2010 р. // *Геополітика і екогеодинаміка регіонів.* – 2014. – Т. 10, Вып.1 – С. 437–444.
12. Описание работы программы Grapher 8 [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.goldensoftware.com/products/grapher>
13. Burrows J. P., Dehn A., Deters B., Himmelmann S., Richter A., Voig, S., and Orphal J. Atmospheric remote-sensing reference data from GOME: Part 1. Temperature-dependent absorption cross-sections of NO₂ in the 231–794 nm range // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* – 1998. – Vol. 60, Is. 6. – P. 1025–1031.
14. Bovchaliuk A., Milinevsky G., Danylevsky V., Goloub P., Dubovik O., Holdak A., Ducos F., and Sosonkin M. Variability of aerosol properties over Eastern Europe observed from ground and satellites in the period from 2003 to 2011 // *Atmos. Chem. Phys.* – 2013. – Vol. 13, No. 13. – P. 6587–6602.
15. Терез Э. И., Терез Г. А., Козак А. В., Кузьмин С. В. Исследование содержания водяного пара в атмосфере Крыма по многолетним фотометрическим наблюдениям Солнца // *Изв. Крымской астрофизической обсерватории.* – 2013. – Т. 109, № 1. – С. 122–131.
16. Eck T. F., Holben B. N., Reid J. S., Dubovik O., Smirnov A., O'Neill N. T., Slutsker I., and Rinne S. Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols // *J. Geophys. Res. Atmospheres.* – 1999. – Vol. 104, Is. D24 – P. 31333–31349.
17. Schuster G. L., Dubovik O. and Holben B. N. Angstrom exponent and bimodal aerosol size distributions // *J. Geophys. Res. Atmospheres.* – 2006. – Vol. 111, Is. D7. – id D07207.
18. Sandrini S., Giulianelli L., Decesari S., Fuzzi S., Cristofanelli P., Marinoni A., Bonasoni P., Chiari M., Calzolari G., Canepari S., Perrino C., and Facchini M. C. In situ physical and chemical characterisation of the Eyjafjallajökull aerosol plume in the free troposphere over Italy // *Atmos. Chem. Phys.* – 2014. – Vol. 14, No. 2 – P. 1075–1092.
19. Казначеев В. П. Проблемы экологии города и экологии человека. Урбоэкология. – М.: Наука, 1990. – 132 с.

А. В. Соїна¹, Г. П. Міліневський², Ю. М. Ямпольський¹

¹Радіоастрономічний інститут НАН України,
вул. Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна

²Київський національний університет
імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, 01601, Україна

СЕМИДЕННІ ВАРІАЦІЇ У АТМОСФЕРНИХ АЕРОЗОЛЯХ

Надаються результати пошуку тижневої циклічності у поведінці аерозольної оптичної товщі, виміряної на довжинах хвиль 440 та 870 нм, параметру Ангстрема (440/870) та осадженої води в атмосфері для п'яти європейських міст. Аналіз виконувався за даними мережі AERONET за період з 2009 до 2011 р. В результаті дослідження були встановлені прояви укенд-ефекту для всіх аналізованих параметрів з максимальними значеннями у четвер–суботу.

A. V. Soina¹, G. P. Milinevsky², and Y. M. Yampolski¹

¹Institute of Radio Astronomy,
National Academy of Sciences of Ukraine,
4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

²Taras Shevchenko National University of Kyiv,
64/13, Volodymyrska St., Kyiv, 01601, Ukraine

SEVEN-DAY VARIATIONS IN THE ATMOSPHERIC AEROSOLS

The results are presented of the weekly periodicity search in the behavior of the aerosol optical thickness measured at the wavelengths of 440 and 870 nm, Angstrom parameter (440/870) and the precipitable water vapor in the atmosphere for five European cities. The analysis was made with the AERONET network data for the 2009–2011 period. The studies confirmed the weekend-effect presence in all analyzed parameters behavior with maximum values on Thursday–Saturday.

Статья поступила в редакцию 20.01.2015