

УДК 551.58

Е.И. Азаренко, канд. техн. наук,**Ю.В. Ананьева, студентка***Севастопольский национальный технический университет**Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ
В УКРАИНЕ И СЕВАСТОПОЛЕ**

По данным измерений Гидрометеобсерватории г. Севастополя на станции Павловский мыс исследуется временная изменчивость показателя кислотности атмосферных осадков pH. Обнаружена общая тенденция годового хода среднемесячных и сезонных значений pH. Выявлена корреляция появления осадков разных кислотных групп с направлением ветра, выполнена оценка вероятности выпадения кислотных дождей в городе.

Дождевые осадки всегда содержат различные примеси, влияющие на значение показателя pH ($\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$). Благодаря поступлению в атмосферу кислотообразующих веществ природного происхождения, pH даже очень чистых осадков, собранных вдали от источников загрязнения, может приближаться к значению 5,6 [1], в отличие от химически чистой воды, для которой $\text{pH}=7,0$. Это дает основание установить границу естественного закисления осадков. По мнению специалистов, термин «кислотные дожди», характеризующий антропогенное загрязнение атмосферы, применим к осадкам с $\text{pH}<5,6$ [2].

Повышенная кислотность осадков вблизи крупных промышленных центров привлекла внимание ученых Англии, Норвегии, Австрии и Германии около 100 лет назад [2] в связи с закислением природных водоемов и почв, приводящим к гибели растительности и рыбы. Одна из основных причин этого явления – увеличение объема кислотообразующих выбросов в атмосферу. К ним относятся прежде всего сернистый ангидрид и окислы азота. Систематические наблюдения за кислотностью атмосферных осадков и изучение их влияния на окружающую среду начались с 40...60-х гг. XX века. Сформировалось несколько "центров" изучения кислотности осадков на северо-востоке США, в Скандинавских странах и центральной части Европы. На территории Советского Союза была создана единая сеть станций наблюдения за химическим составом атмосферных осадков, которая продолжает функционировать сегодня в Российской Федерации [1, 2].

Проблема кислотных осадков актуальна и для Украины. За последние 30 лет площадь кислых грунтов в Украине выросла на 30 % [3]. В Черкасской области осадки закислены азотной кислотой, в Сумской – серной, в Ровенской – азотной и серной. Украину загрязняют вредные вещества, поступающие с массами атлантического влажного воздуха из стран Западной Европы. Наблюдения за трансграничным переносом загрязнителей в атмосферном воздухе и осадках проводятся на метеостанциях «Світязь» (Волинская обл.) и «Рава-Руська» (Львовская обл.). В сети гидрометеослужбы Украины кислотность осадков определяется на 50 метеостанциях [3].

Согласно данным «Национального доклада о состоянии окружающей природной среды Украины в 2003 году» в период 2002-2003 гг. продолжалось снижение показателя pH атмосферных осадков с 6,19 до 6,05 (рисунок 1 а)), в 2003 г. было отмечено четыре случая кислотных осадков:

- на агрометеорологической станции Никитский Сад (АР Крым) 17-18 февраля осадки с pH 3,27;
- в г. Херсон 6 марта зафиксированы осадки с pH 4,35;
- в г. Симферополь (АР Крым) 9 и 14 марта – с pH 4,35.

Представленная тенденция снижения pH осадков согласуется с данными об изменении объемов кислотообразующих выбросов в Украине в тот же период времени [4], полученными в Управлении статистики г. Севастополя (рисунок 1, б)). В 2003 году выброс сернистого ангидрида возрос на 6,2 % по сравнению с 2000 годом, оксидов азота – на 1,7 %. Дальнейший рост производства будет неизбежно сопровождаться увеличением объема выбросов в атмосферу и, следовательно, есть все основания ожидать обострения экологических проблем, связанных с кислотностью осадков.

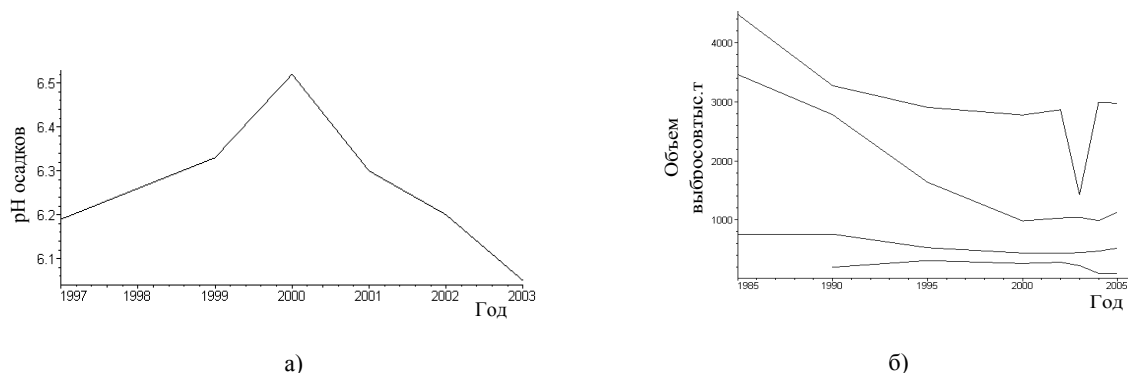


Рисунок 1 – Изменение кислотности атмосферных осадков и объемов выбросов кислотообразующих веществ в Украине: а) ход среднегодовых значений показателя pH осадков в Украине; б) динамика объемов кислотообразующих выбросов в Украине: сверху вниз – оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, ЛОС

В Севастополе определение pH атмосферных осадков производится городской гидрометеорологической станцией. Для исследования кислотности могут отбираться суммарные и единичные пробы дождя. На станции Павловский мыс ГМО г. Севастополя отбирались единичные пробы осадков, на основании которых можно выявить влияние метеорологических параметров на их состав. Нами были проанализированы результаты измерения показателя pH 261 пробы осадков, выпавших в январе 2004 - декабре 2006 г. Среднегодовые значения pH составили 6,8 в 2004 и 2005 гг., 7,1 в 2006 году.

В период наблюдения значения pH отдельных осадков существенно изменялось: от минимального 4,03 в феврале 2004 г. до максимального 8,37 в январе 2006 г. Весь диапазон полученных значений pH был условно поделен на 5 групп: кислые ($4 < \text{pH} < 5$), слабокислые ($5 < \text{pH} < 6$), нейтральные ($6 < \text{pH} < 7$), слабощелочные ($7 < \text{pH} < 8$) и щелочные ($8 < \text{pH} < 9$). Повторяемость осадков разных кислотных групп приведена в таблице 1:

Таблица 1 – Распределение осадков по кислотности

pH	4...5	5...6	6...7	7...8	8...9
Повторяемость осадков, %	2,7	9,2	41,4	43,3	3,4

Исходя из полученных данных, 84,7 % дождей имели pH от 6 до 8 и являлись нейтральными либо слабощелочными, причем год от года вероятность таких осадков менялась незначительно. В период наблюдений 11,9 % осадков имели показатель pH ниже 6,0, а 5,4 % были кислотными. Изменение вероятности выпадения кислотных осадков по годам представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение осадков по годам

Год		2004	2005	2006
Вероятность (%) выпадения осадков с pH	$< 6,0$	8,7	16,5	7,7
	$< 5,6$	3,3	9,9	2,6

Чтобы рассмотреть годовой ход кислотности осадков и изменение по сезонам были рассчитаны среднемесячные значения pH, определены коэффициенты их корреляции с номером месяца и выявлен линейный тренд.

На рисунке 2 представлен годовой ход среднемесячных значений pH осадков по годам и за весь период наблюдений.

Среднемесячная кислотность осадков, за исключением января и февраля 2005 г. (5,96 и 5,86 соответственно), лежит в области нейтральных и слабо щелочных значений – 6,40...7,79.

В 2004 и 2006 годах имеется отрицательный тренд pH и, наоборот, положительный тренд pH для 2005 года (рисунок 2). В среднем можно говорить о годовом уменьшении кислотности осадков с января по декабрь в месте наблюдений на 0,3 ед. pH.

В 2005 г. наблюдался всплеск частоты появления кислотных осадков. Щелочных осадков в этом году не выпадало. Кроме того, годовой ход значений pH в 2005 г. резко отличается от 2004 и 2006 г. Причины этого явления следует искать в нарушении в 2005 году номинального режима работы техногенных объектов на юге Украины. Если считать 2005 год аномальным и исключить его, общая тенденция годового хода среднемесячных значений pH осадков будет иметь вид, представленный на рисунке 2, б).

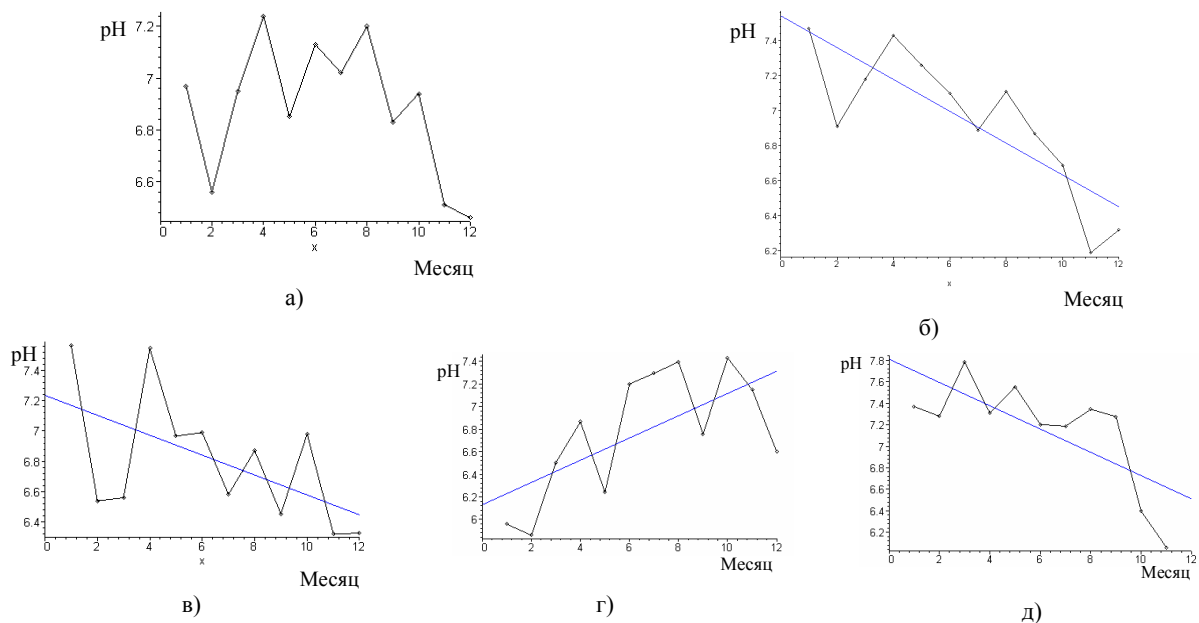


Рисунок 2 – Годовой ход среднемесячных значений pH осадков:

- а) за весь период наблюдения: коэффициент корреляции $r=-0,35$;
 б) 2004, 2006 годы: коэффициент корреляции $r=-0,82$, уравнение линейного тренда $y=7,54-0,09 \cdot x$;
 в) 2004 год: коэффициент корреляции $r=-0,56$, уравнение линейного тренда $y=7,24-0,07 \cdot x$;
 г) 2005 год: коэффициент корреляции $r=0,65$, уравнение линейного тренда $y=6,13+0,10 \cdot x$;
 д) 2006 год: коэффициент корреляции $r=-0,72$, уравнение линейного тренда $y=7,81-0,11 \cdot x$

В таблице 3 приведено изменение средних сезонных значений pH.

Таблица 3 – Сезонный ход кислотности осадков

Год	Среднее значение pH для сезона года			
	зима	весна	лето	осень
2004-2006	6,69	7,04	7,12	6,76
2004, 2006	7,07	7,29	7,03	6,58
2004	6,81	7,02	6,81	6,58
2005	6,14	6,54	7,30	7,11
2006	7,33	7,55	7,24	6,58

Более кислые осадки выпадают в холодное время года – 71,4 % кислотных дождей за период наблюдений выпали зимой. В весенне-летний период дожди, как правило, нейтральные.

Выявлена корреляция вероятности появления осадков с pH ниже 6,0 с направлением ветра: коэффициент корреляции составил 0,53. Изменение вероятности выпадения осадков с кислотностью ниже 6,0 и ниже 5,6 в зависимости от направления ветра показано на рисунке 3.

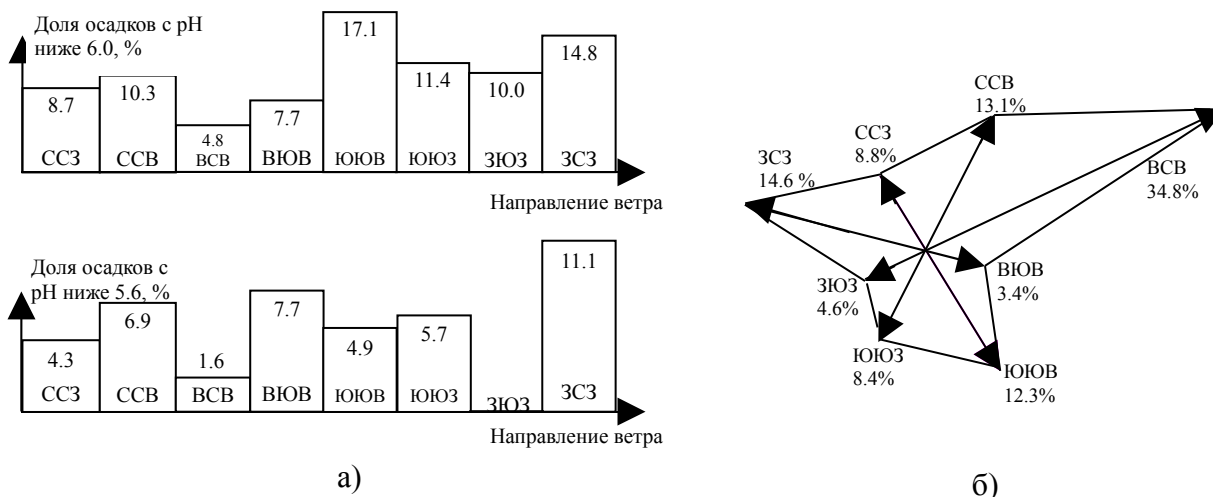


Рисунок 3 – Изменение вероятности выпадения осадков разных кислотных групп в зависимости от направления ветра: а) распределение осадков, б) роза ветров

Максимальная вероятность выпадения осадков с pH ниже 6,0 наблюдается в секторе, ограниченном направлениями юго-восток и северо-запад. Учитывая розу ветров, построенную по данным трехлетних наблюдений (рисунок 3, б)), частота появления ветров такого направления составляет около 40 %.

Поскольку основная часть кислотных дождей выпадает в зимние месяцы, анализ корреляции с направлением ветра для этого периода года был проведен отдельно. Результаты представлены на рисунке 4.

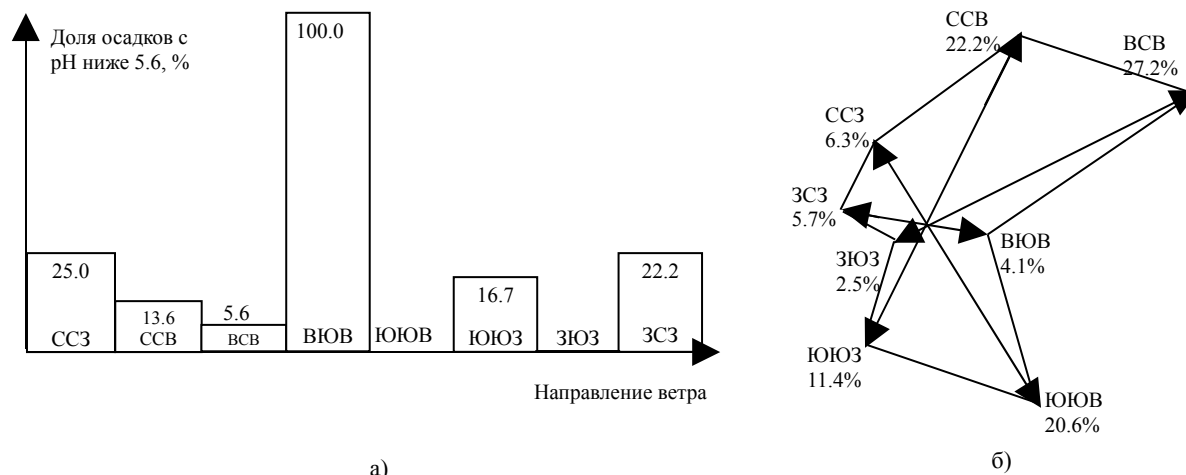


Рисунок 4 – Изменение вероятности выпадения кислотных осадков в зимние месяцы в зависимости от направления ветра: а) распределение осадков, б) роза ветров для зимних месяцев

Учитывая, что для направления ветра восток-юго-восток был зафиксирован только один случай выпадения осадков, можно считать, что вероятность кислотного дождя зимой максимальна для северо-западного направления. Частота появления таких ветров не превышала 12,0 %. Вероятность выпадения кислотного дождя для зимних месяцев в Севастополе составила 11,0 %.

Дальнейшее изучение влияния метеопараметров на состав атмосферных осадков позволило выявить корреляцию тесноты связи направления ветра и среднемесячного значения pH с номером месяца: для 2004 года коэффициент корреляции составил $r=0,22$, для 2005 – $r=0,09$, 2006 – $r=-0,22$. Эти данные, при условии увеличения объема статистической информации, могут служить для уточнения предложенных в настоящей статье моделей и более полного обоснования высказанных гипотез. Целью дальнейших исследований может стать выявление наиболее значимых для Севастополя источников кислотообразующих выбросов в атмосферу и разработка мер защиты.

В заключении следует отметить, что анализ результатов трехлетних наблюдений за показателем pH атмосферных осадков в Севастополе позволил:

- оценить вероятность выпадения кислотных дождей в городе – 5,4 %;
- выявить сильную корреляцию среднемесячных значений pH осадков с номером месяца (коэффициенты корреляции для разных лет составили от -0,72 до 0,65);
- описать общую тенденцию годового хода среднемесячных и сезонных значений pH (в теплый период в городе выпадают менее кислые осадки – среднее значение $pH = 7,08$, чем осенью и зимой – $pH=6,73$, вероятность выпадения кислотного дождя в зимние месяцы возрастает до 11,0 %);
- выявить корреляцию вероятности выпадения слабокислых и кислых осадков с направлением ветра (коэффициент корреляции для осадков с pH ниже 6,0 составил 0,53).

Несмотря на значительный разброс pH как отдельных дождей (от 4,03 до 8,37), так и средних значений за месяц, сезон, среднегодовая кислотность осадков в Севастополе в 2006 г. снизилась на 0,3 ед. pH по сравнению с 2004 и 2005г. Тем не менее, можно рекомендовать гидрометеослужбе города оперативно информировать население о кислотности осадков.

Библиографический список

1. Еремина И. Д. О кислотности атмосферных осадков в Москве / И. Д. Еремина // Метеорология и гидрология. — 2001. — № 6. — С. 62 – 69.
2. Фомин Г.С. Воздух: Контроль загрязнений по международным стандартам / Г.С. Фомин. — М.: Изд-во «Протектор», 2002. — 422 с.
3. Клименко М.О. Моніторинг довкілля / М.О. Клименко, А.М. Прищеп, Н.М. Вознюк. — К.: Видавничий центр «Академія», 2006. — 360 с.
4. Статистичний збірник «Довкілля України» за 2005 рік / Державний комітет статистики України: під загальним керівництвом Ю.М. Остапчука. — К.: Вид-во Держкомстат, 2006. — 257 с.

Поступила в редакцию 22.03.2007 г.