

УДК 504.064.3:574

**ПРОБЛЕМА «КИСЛОТНЫХ ОСАДКОВ» НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ МИР**

О.А. ИЛЬНИЦКИЙ, Ю.В. ПЛУГАТАРЬ, С.П. КОРСАКОВА

Никитский ботанический сад, г.Ялта, Республика Крым, РФ

В таком, казалось бы, экологически чистом регионе, как Никитский ботанический сад и заповедник «Мыс Мартьян», существует проблема загрязнения окружающей среды; pH кислых осадков со значением меньше 4,7 – 5,0 составляет в Ялте 10 – 19% от их общего количества и, естественно, наносит вред окружающей среде.

Атмосферные осадки на ЮБК характеризуются повышенным содержанием соединений – производных от оксидов серы и азота. Регулярные измерения и анализ атмосферного воздуха и осадков имеют значение как исходная база данных для мониторинга эволюции состояния окружающей среды. В связи с переводом отопительных систем на природный газ наблюдается некоторое сокращение этих выбросов в атмосферу.

Биоиндикационные методы дают возможность индикации и прогноза повреждения самих растений и экспозиции, измеряемой месяцами и годами, а также наблюдений на обширных природных территориях.

Измеряя pH осадков и температуру воздуха в месте произрастания данного вида древесных растений в момент опыления, вычисляют % прорастания жизнестойких семян по предложенной нами методике. Результаты исследований могут быть использованы при интродукции различных видов, а также в экологии и лесоводстве при изучении антропогенной нагрузки на определенный географический регион.

Ключевые слова: кислотные осадки, мониторинг природной среды, заповедник «Мыс Мартьян», метеостанции «Никитский сад» и «Ялта» репродуктивная сфера древесных растений.

Введение

Кислотные дожди – следствие нарушения круговорота веществ между атмосферой, гидросферой и литосферой.

Региональные и мировые программы мониторинга окружающей природной среды включают наблюдения за химическим составом атмосферных осадков в качестве одного из основных средств контроля техногенного загрязнения атмосферы [2]. Вымывая загрязняющие, прежде всего кислотообразующие, примеси из атмосферного воздуха, осадки сами по себе выступают как фактор экологического риска [4, 8]. Не случайно проблема кислотных осадков и закисления водоемов, почв, иных природных сред и объектов стала одной из самых актуальных мировых экологических проблем [9, 16]. Термин «кислотные осадки» применяют в отношении любых атмосферных осадков с pH меньше 5,6, так как атмосферная углекислота не может снижать pH ниже этого уровня.

Явление закисления осадков приобрело масштаб мировой экологической проблемы, начиная с 50-х годов. Тогда же началось его интенсивное изучение. Первые наблюдения, проведенные в 1978 г., показали, что проблема закисления атмосферных осадков актуальна и для Южного берега Крыма [13].

Основные источники химических примесей в атмосферных осадках (атмосфере) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Источники химических примесей в атмосферных осадках (атмосфере)

Источник	Химические примеси
Процессы горения	Сажа (копоть); SO_4^{-2} ; NO_3^- ; NH_4^+ ; H^+ , K^+
Морская вода	Na^+ ; Cl^- ; Mg^{+2} ; K^+ ; Ca^{+2} ; SO_4^{-2}
Почвенная пыль (в результате растворения серной и азотной кислотами)	Ca^{+2} ; Mg^{+2} ; Al^{+3} ; Fe^{+3}
Биогенное загрязнение	MH_4 ; NO_3 ; орг. N; PO_4^{-3}

Для анализа кислотных осадков в различных местах Южного берега Крыма мы использовали данные результатов измерений в заповеднике «Мыс Мартьян», которые проводились сотрудниками Никитского ботанического сада с 1978 по 1995 годы, данные метеостанции «Никитский сад», а также метеостанции «Ялта».

Целью данной работы является изучение влияния на окружающую среду Южного берега Крыма кислотных осадков на протяжении довольно длительного периода времени (1980 – 2004 гг.). Результаты этих исследований дадут возможность выявить источники загрязнения окружающей среды и определить первоочередные мероприятия по уменьшению этого влияния. При помощи биоиндикационных методов будет показано влияние кислотных осадков на увеличение количества неполноценных семян древесных растений на примере можжевельника красного и предложена новая методика по определению этого влияния.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились при помощи методологии и приборной базы фитомониторинга. Для определения процента прорастания жизнестойких семян нами была разработана методика, впоследствии защищенная патентом.

Результаты и обсуждение

По наблюдениям 1978 – 1979 гг. [14] значения pH проб дождевых и снеговых вод, собранных на Южном берегу Крыма в холодный период года, находились в пределах от 4,85 до 4,05. В последующем были начаты регулярные измерения pH выпадающих осадков. Итоги этих наблюдений приводятся по одной из точек в заповеднике «Мыс Мартьян» в табл. 2. Причем данные по pH рассчитаны в виде средневзвешенных значений, т.е. с учетом количества выпадавших осадков за время отбора проб.

Таблица 2

pH атмосферных осадков на Южном берегу Крыма – заповедник «Мыс Мартьян», 110 м над уровнем моря (по Щербатюку, 2002)

Годы	Минимальные значения pH	Средневзвешенные значения pH			Отклонения среднегодовых значений pH от среднеемноголетнего
		за холодный период года (1-4, 11-12)	за теплый период года (5-10)	за год	
1	2	3	4	5	6
1980	3,87	4,30	4,83-4,42	4,42	-0,09
1981	3,92	4,47	4,75-4,53	4,53	+ 0,02
1982	3,85	4,37	4,77-4,50	4,5	-0,01
1983	3,84	4,10	4,79-4,35	4,35	-0,16
1984	4,18	4,57	4,68-4,61	4,61	+ 0,10
1989	3,47	4,23	4,65-4,39	4,39	-0,12
1990	3,98	4,43	4,84-4,60	4,6	+ 0,09
1991	3,50	4,49	5,10-4,67	4,67	+ 0,16

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
1992	4,3	4,71	4,90-4,79	4,49	+ 0,28
1993	3,74	4,63	5,15-4,81	4,81	+ 0,30
1994	3,39	4,29	5,2-4,39	4,39	-0,12
1995	3,90	4,30	5,0-4,42	4,42	-0,09
1981-1995	3,39	4,38	4,84-4,51	4,51	–

За период с 1980 по 1995 гг. среднегодовые значения рН изменялись в пределах от 4,81 до 4,35, при этом значения по отдельным пробам снижались до 3,50-3,39. Среднемноголетнее значение рН за холодный период года (январь – апрель и ноябрь – декабрь) оказалось ниже почти на 0,5 единицы по сравнению со значением рН (4,84) за теплый период (май – октябрь). Среднее многолетнее значение рН составило 4,51.

Отклонения среднегодовых значений от средних многолетних были в пределах (в единицах рН) от –0,16 до +0,30. Сравнение первых 5 лет наблюдений (1980 – 1984 гг.) и последующих (1991 – 1995 гг.) указывает на повышение рН осадков, т.е. на уменьшение их закисления, что находит свое объяснение в уменьшении объемов потреблявшегося топлива в 1990-х годах [14].

Исходя из приведенных в таблице 3 данных, можно рассматривать средний уровень активной кислотности атмосферных осадков, равный рН 5,1, как региональный для Крыма (по периоду наблюдений 1979 – 1985 гг. для холодного времени года). Этот уровень характерен для степных районов, западного Предгорья и западной части Южнобережья.

Таблица 3

**рН атмосферных осадков по районам Крыма
(в холодный период года, 1979 – 1985 гг.)**

Территории	Значения рН	
	Минимальные,	средние
Степные районы	4,72	5, 1
Северное Предгорье	4,50	4,7
Западное Предгорье, западная часть Южного берега Крыма	4,63	5,1
Центрально-восточная часть Южного берега Крыма, Большая Ялта	3,82	4,3

Понижение значений рН в среднем до 4,7 отмечено в северном Предгорье и до уровня рН 4,3 – в центрально-восточной части Южного берега, включая территорию Большой Ялты. В отношении последнего района можно говорить о стабильном закислении атмосферных осадков в холодный период года. На это же указывают данные по заповеднику «Мыс Мартьян», приведенные в таблице 2. Закисление осадков в холодное время года (I - IV, XI - XII) характерно на протяжении всего периода наблюдений с 1980 по 1995 гг. Для теплого времени года (V – X) закисление осадков не прослеживается по средним значениям рН, но это не исключает выпадения отдельных кислотных дождей.

В дальнейшем такие исследования почти не проводились и нам пришлось использовать данные метеостанции «Никитский сад».

Ниже приведен анализ информации за 1996 – 2006 гг.

Оценивался в основном рН осадков за эти годы, так же проведено сравнение их с результатами, приведенными выше. Как видно из рисунков 1 и 2, минимальное значение рН наблюдалось в мае, а максимальное – в августе.

На рисунке 3 показано количество и величина рН осадков в 2001 г.

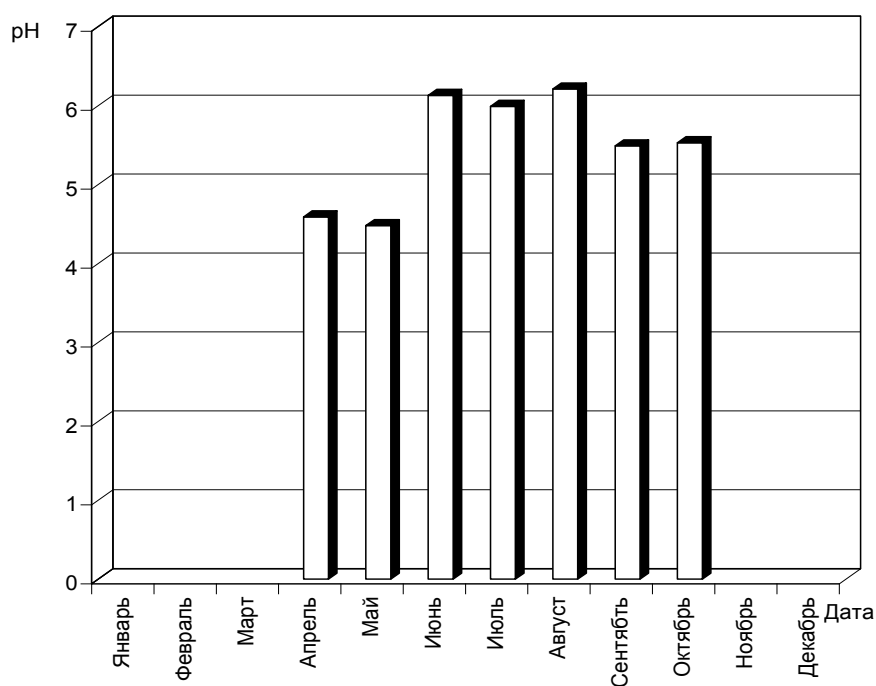


Рис. 1 Среднемесячные значения pH осадков за 1996 г.

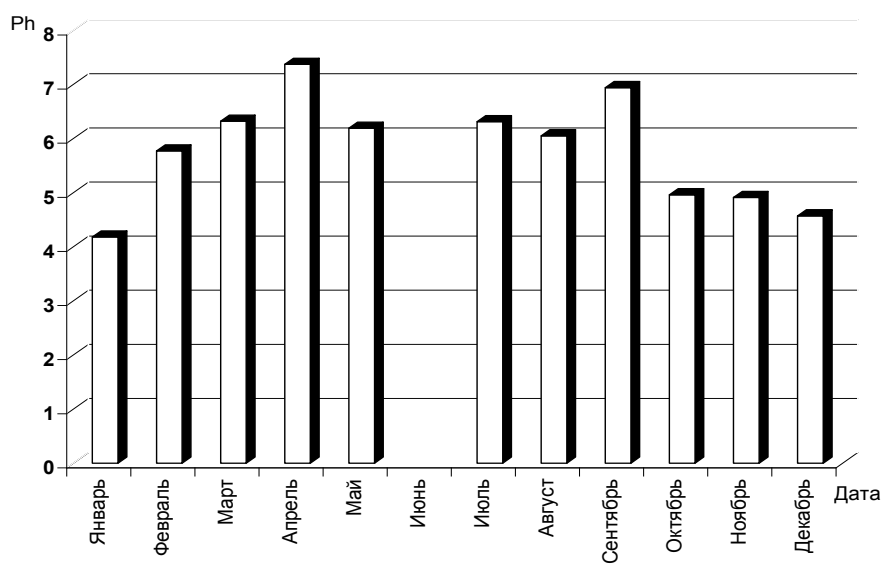


Рис. 2 Динамика среднемесячного изменения pH осадков за 2000 г.

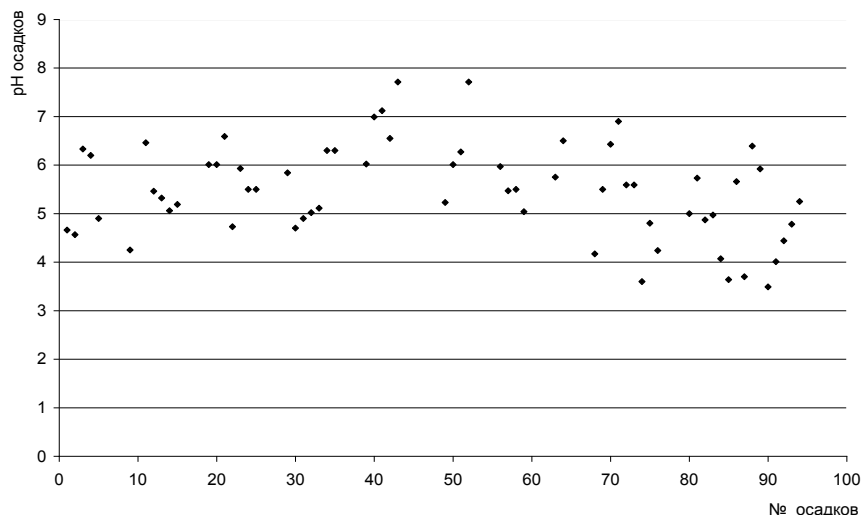


Рис. 3 Количество и величина pH осадков в 2001 г.

Из рисунка 3 видно, что значительная часть осадков имела pH от 4,5 до 5,5. Нами были проанализированы значения pH осадков за последние 11 лет измерений на метеостанции «Никитский сад» (1996 – 2006 гг.) и значения pH ниже 4,7 в процентном отношении к общему количеству осадков. Они представлены на рис. 4.

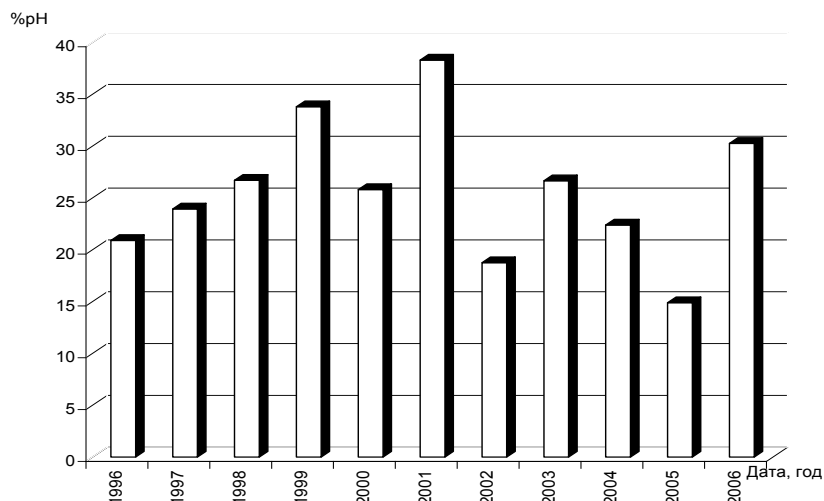


Рис. 4 Количество осадков с pH < 4,7, в % к их общему количеству за 1996 – 2006 гг.

Из анализа рисунка 4 видно, что за эти 11 лет максимальное загрязнение атмосферных осадков – 38,3% от их общего количества наблюдалось в 2001 г. Минимальное – 14,9% в 2005 г., а среднее значение за эти годы измерений – 21,125%, т.е. разница между крайними значениями была больше чем в 2,5 раза.

На рисунке 6 представлены среднегодовые значения pH осадков (3), осадков за холодное время года (1) и теплое (2) за 1996 – 2006 гг. На рисунках 5, 6 и 7 приведены среднеемесячные значения pH осадков за 1996 – 2000 гг. и 2001 – 2006 гг.

Естественно, что в холодное время года pH осадков уменьшается за счет работы различных котельных, что четко показано на приведенных рисунках.

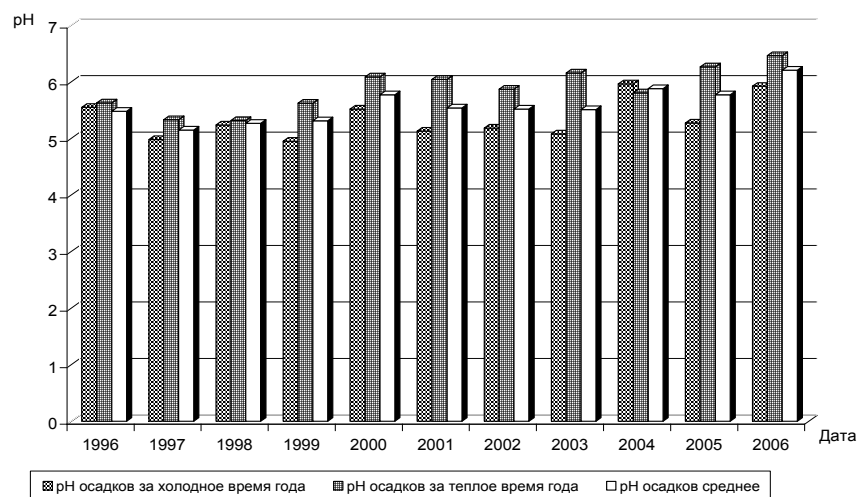


Рис. 5 Среднегодовые значения pH осадков (3), осадков за холодное время года (1) и теплое (2) за 1996-2006 гг.

Среднемноголетние значения pH осадков (pH min, pH max, pH ср.) в заповеднике «Мыс Мартыан» (1,2) и метеостанции «Никитский сад» (3) за 1980 – 1995 гг. приведены на рисунках 8 и 9. Из анализа этих результатов видно, что значения pH (pH min, pH max, pH ср.) за все годы измерений выше на метеостанции «Никитский сад».

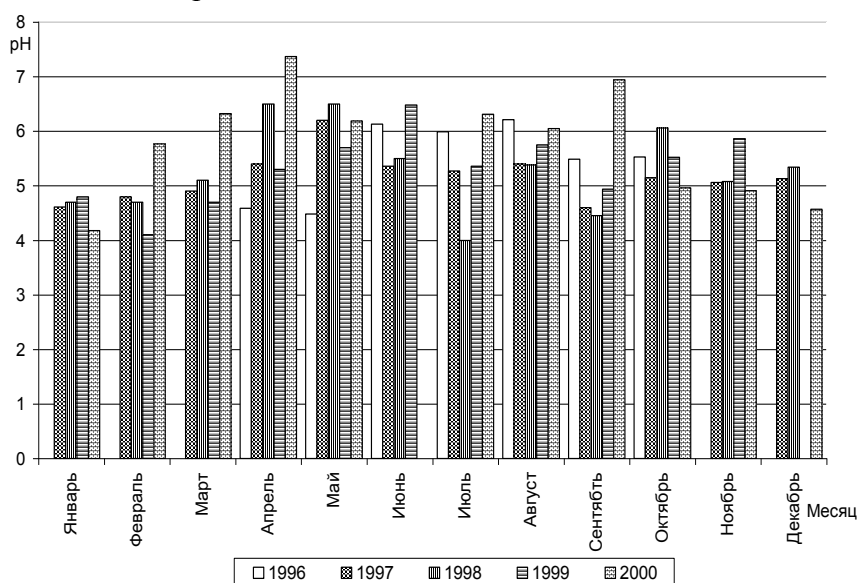


Рис. 6 Среднемесячные значения pH осадков за 1996-2000 гг.

Это объясняется тем, что вблизи метеостанции проходит автодорога, и результаты анализов отчетливо указывают на локальное загрязнение воздуха минеральной пылью (повышение pH проб, увеличение содержания бикарбоната кальция).

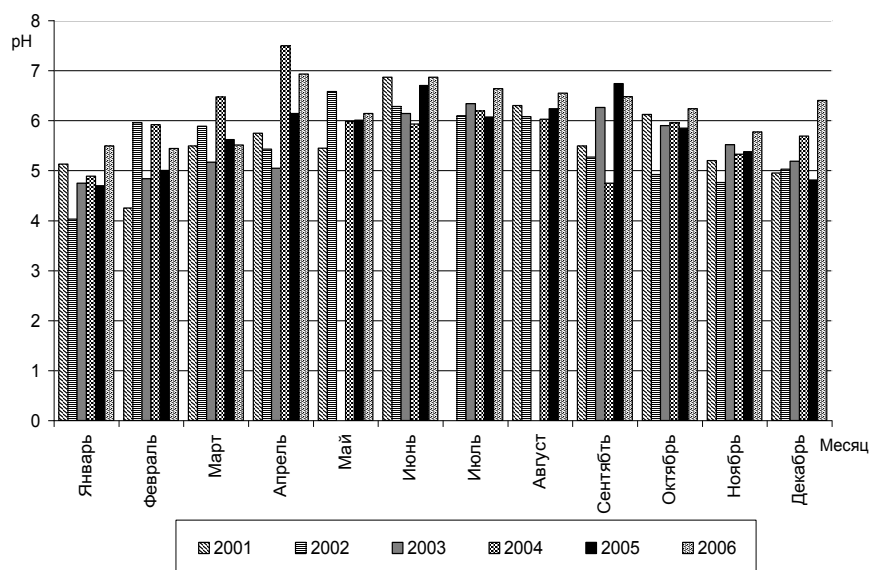


Рис. 7 Среднемесячные значения pH осадков за 2001-2006 гг.

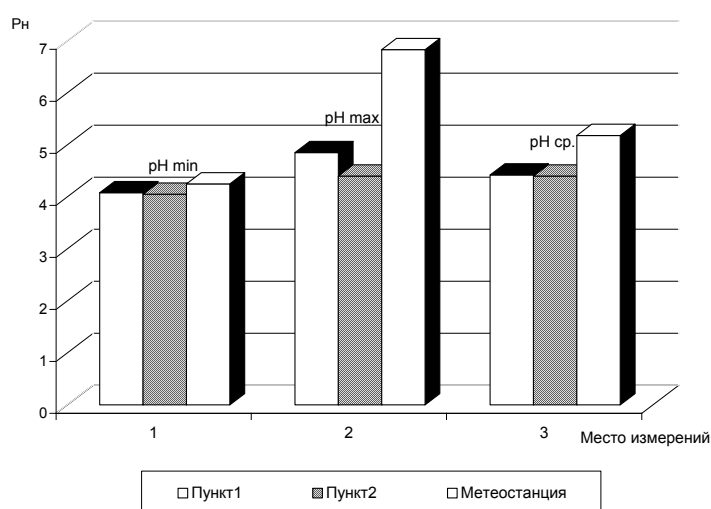


Рис. 8 Среднегодовое значения pH осадков (pH min, pH max, pH ср.) в заповеднике «Мыс Мартьян» (1,2) и метеостанции «Никитский сад» (3) за 1980-1995 гг.

Увеличением количества транспорта можно объяснить изменение среднегодовых значений pH max с 6,83 в 1980 – 1995 гг. до 7,435 в 1996 – 2007 гг. (рис.9) и среднегодовых значений этого параметра.

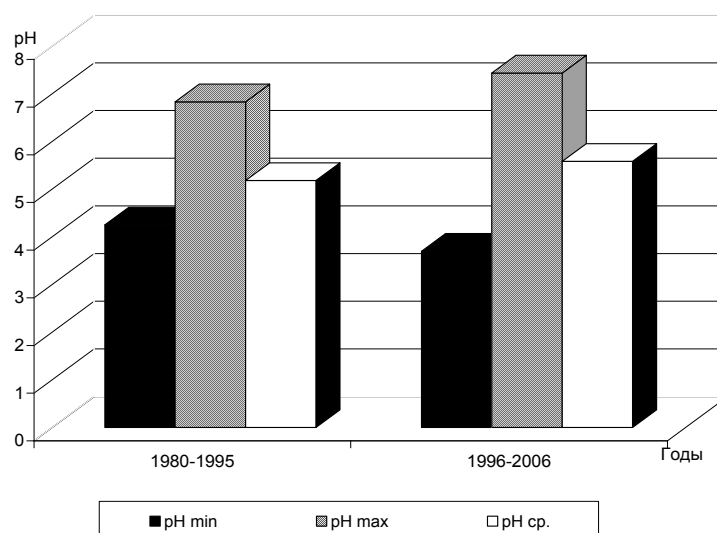


Рис. 9 Среднегодовые значения pH осадков 1-pH min, 2-pH max, 3-pH ср., метеостанция «Никитский сад» (1980-1995 гг., 1996-2006 гг.)

Подобные исследования были проведены нами в 1999 – 2004 гг. с использованием данных метеостанций «Никитский сад» и «Ялта». pH осадков ранжировали по уровням $\text{pH} < 5$ и $\text{pH} < 4,7$. Затем было рассчитано их процентное отношение в общей сумме осадков и найдено их соотношение между двумя этими метеостанциями.

В таблице 4 приведены значения pH осадков двух метеостанций «Никитский сад» и «Ялта» и показано соотношение этих осадков.

Таблица 4

Значения pH осадков двух метеостанций – «Никитский сад» и «Ялта» и соотношение этих осадков

Год измерения	«Ялта»	«Никитский сад»	«Ялта»	«Никитский сад»	Отношение, раз
	pH ср. год.	pH ср. год.	pH < 5 в %	pH < 4,7 в %	% Н.С./%Я.
1999	6,29	5,31	11	33,8	3,07
2000	6,14	5,77	20	25,8	1,29
2001	6,31	5,54	8	38,29	4,78
2002	6,18	5,52	8	18,75	2,34
2003	6,02	5,51	15	26,66	1,77
2004	5,96	5,88	20	22,38	1,9

Результаты мониторинга показывают, что в Никитском ботаническом саду и заповеднике «Мыс Мартыан» существует проблема загрязнения окружающей среды. Однако, как видно из табл. 4 и рис. 10, соотношение между pH осадков данных метеостанций составляет 1,29-4,78 раза, т.е. загрязнение атмосферного воздуха в г. Ялте ниже.

Это можно объяснить тем, что рядом с метеостанцией «Никитский сад» находится автомагистраль Симферополь-Ялта, а также мощная районная котельная, которая и является основным источником загрязнения.

Загрязнение окружающей среды, естественно, оказывает негативное влияние на растительный мир. Это влияние изучается различными методами, в том числе и методами биоиндикации [5, 6].

Постоянное совершенствование биоиндикационных методов вывело их в разряд весьма точных и надежных аналитических приемов, обладающих такими важными преимуществами перед инструментальными методами, как возможность длительной экспозиции, измеряемой месяцами и годами, а также наблюдений на обширных природных территориях.

Обнаруженная особенность ассимиляционного аппарата растений (хвои и листьев – у высших, таллома – у низших) накапливать серу в процессе газообмена с воздушной средой была использована как для индикации загрязнения воздуха сернистыми соединениями, так и для индикации и прогноза повреждения самих растений [15, 18]. Родоначальником метода можно считать Й. Матерну [19], проводившего исследования в 1960-х – начале 1970-х годов на насаждениях ели в Рудных горах в Чехословакии и соединившего вместе шкалу загрязнения воздуха сернистым газом, шкалу повреждения древостоя ели и шкалу накопления серы в еловой хвое.

Для оценки степени повреждения растений техногенным загрязнением атмосферы разработана шкала категорий жизненного состояния деревьев [1].

На Южном берегу Крыма в качестве видов-индикаторов были отобраны [14] сосна крымская (лесные и лесопарковые насаждения) и кедр гималайский (парковые насаждения). Разработанная шкала индикации по названным видам хвойных включает 4 уровня загрязнения атмосферного воздуха с учетом конкретных условий региона: фоновый (среднегодовая концентрация $\text{SO}_2 < 10 \text{ мкг / м}^3$), низкий ($10 - 20 \text{ мкг / м}^3$), повышенный ($30 - 40 \text{ мкг / м}^3$), высокий ($50 - 60 \text{ мкг / м}^3$). Очень высокий уровень загрязнения не выделялся. Каждому из уровней загрязнения воздуха отвечают интервалы значений содержания общей серы в 2-летней хвое (рассчитанного на абсолютно сухую массу). Для удобства в практическом использовании шкалы уровни загрязнения воздуха оценены в баллах: фон – 0 баллов, низкий – 1 балл, повышенный – 2 балла и высокий – 3 балла (табл. 5).

Таблица 5

Шкала индикации загрязнения воздуха сернистыми соединениями по содержанию общей серы в 2-летней хвое сосны крымской и кедра гималайского

Виды-индикаторы	Уровни загрязнения атмосферного воздуха			
	Фон - 0 баллов	Низкий – 1 балл	Повышенный – 2 балла	Высокий – 3 балла
	Среднегодовая концентрация SO_2 , мкг / м^3			
	<10	10 - 20	30 - 40	50 - 60
	Содержание общей серы в хвое, %			
<i>Pinus pallasiana</i>	0,02-0,06	0,07 -0,1	0,11-0,14	0,15-0,19
<i>Cedrus deodara</i>	0,03-0,06	0,07-0,14	0,15-0,22	0,23-0,30

Измерения в пределах территории Южного берега Крыма показали, что содержание общей серы в 2-летней хвое сосны крымской колебалось от 0,02 до 0,18 %, а у кедра гималайского – от 0,03 до 0,30 %.

Для Главной гряды Крымских гор выделено 3 пояса: нижний – от побережья до высоты 300 м, средний – от 300 до 900 м и верхний – выше 900 м над уровнем моря.

Наиболее низкое содержание общей серы в хвое сосны крымской найдено в пределах верхнего пояса. Средние баллы загрязнения по Бабуган-яйле и району

перевала Гурзуфское седло составили 0 – 0,2. Более высокие значения загрязнения получены для среднего пояса. Здесь, от лесного массива над селом Запрудное до лесных участков над Форосом получены средние баллы загрязнения 0,2 – 0,9. И, наконец, для нижнего пояса средние баллы загрязнения оказались наиболее высокими – 0,5 – 1,5. В пределах селитебных территорий наиболее высокие значения накопления серы в хвое сосны крымской (средний балл загрязнения – 2,0 – 2,2), были отмечены для промышленной зоны Ялты, расположенной выше обводной дороги, и для Поликуровского холма, где расположены корпуса и парк института им. Сеченова. На южной границе леса вблизи от места нахождения водоочистной станции Ялтинского «Водоканала» уровень загрязнения воздуха составил 1,4, а в районе городской больницы в Ливадии – 0,8. Для основной югобережной автотрассы значения загрязнения воздуха сернистыми соединениями составили 1,4 -1,5 балла.

Таким образом, проведенные исследования показали, что содержание техногенной серы в некоторых районах превышает граничные уровни для хвойных насаждений. Это приводит к повреждению некоторых растений, например, в районе Севастопольского шоссе.

Репродуктивная (особенно генеративная) сфера растений весьма чувствительна к воздействию факторов окружающей среды. Загрязнение окружающей среды приводит к увеличению количества неполноценных семян древесных растений. Это связано с условиями прорастания их пыльцы в процессе опыления, отличающихся для каждого вида древесных растений. Известны способы определения прорастания пыльцы [3, 7, 10] различных видов древесных растений в зависимости от pH осадков, температуры и влажности воздуха.

В работе [17] приведены результаты проращивания 13 видов лесных растений, культивируемых на среде, подкисленной серной кислотой с $\text{pH} = 5,6 - 2,6$.

Прорастание пыльцы 9 видов деревьев полностью подавлялось при $\text{pH} \leq 3,0$, тогда как при $\text{pH} = 4,6$ почти не отличалось от контроля. При этом оказалось, что пыльца широколистных пород более чувствительна к подкислению, чем пыльца хвойных деревьев.

Известен способ определения количества пыльцевых зерен для можжевельника красного (колючего) *Juniperus oxycedrus*, которые освободились от экзисмы в капельной жидкости (т. е. способных к прорастанию) с различными значениями pH среды (Ругузова, 2006). Результаты этих исследований приведены в таблице 6.

Таблица 6

Количество пыльцевых зерен *Juniperus oxycedrus* (Можжевельника красного), которые освободились от экзины в капельной жидкости с различными значениями pH (Ругузова, 2006)

рН раствора	Количество пыльцевых зерен, которые освободились от экзины через 30 мин, %	рН раствора	Количество пыльцевых зерен, которые освободились от экзины через 30 мин, %
8,0	98,5	5,2	68,1
7,0	98,4	5,0	66,8
6,8	98,2	4,8	51,1
6,6	98,0	4,6	30,2
6,4	97,7	4,4	18,3
6,2	96,9	4,2	5,2
6,0	81,1	4,0	0
5,8	79,6	3,0	0
5,6	78,4	2,0	0
5,4	71,8		

Из Таблицы 6 видно, что для данного вида *Juniperus oxycedrus* оптимум среды при прорастании пыльцы находился в интервале 6,2 – 8,0. При pH = 4,0 ни одно из зерен не произрастает. Определено, что температура воздуха при этом не должна быть ниже +16°C. Неопыленные семенные зачатки формируют пустые семена.

Существенным недостатком этого метода является то, что полученная информация о прорастании пыльцевых зерен конкретного вида древесных растений не сравнивается в режиме реального времени с динамикой параметров внешней среды конкретного географического региона. Мы устранили этот недостаток на примере можжевельника колючего, или красного, *J. oxycedrus*.

Поставленная задача решается тем, что в месте произрастания данного вида древесных растений в момент опыления измеряют pH осадков и температуру воздуха в режиме текущего времени. Затем эти данные сравнивают с определенными ранее оптимальными параметрами прорастания пыльцы данного вида и вычисляют % прорастания жизнестойких семян.

В Крыму произрастает 5 видов можжевельников:

1. Можжевельник полушаровидный *J. hemisphaerica*, время цветения – июнь.
2. Можжевельник колючий, или красный, *J. oxycedrus* L., время цветения – конец апреля – май.
3. Можжевельник вонючий *J. foetidissima* Willd, время цветения – апрель.
4. Можжевельник казацкий *J. sabina* L., время цветения – май.
5. Можжевельник высокий *J. excelsa* L., время цветения – апрель.

Время цветения каждого вида примерно 10 дней (две недели). Репродуктивная сфера всех видов идентичная.

Таблица 7

**pH осадков во время цветения различных видов можжевельников (апрель – июнь)
в 1996, 1999, 2000, 2007, 2011, 2012, 2013 гг. и расчетный % прорастания пыльцы
(данные метеостанции «Никитский сад»)**

1	2	3	4	5	6
1996г.			1999г.		
Апрель	pH ос.	% расч.	Апрель	pH ос.	%расч.
Дата 6	5,01	97,193	Дата 1	5,6	79,322
8	4,53	31,531	22	5	56,731
10	4,53	31,531	28	5,4	72,924
11	4,08	0,863	Май		
22	4,81	47,369	Дата 5	5	56,731
Май			15	4,5	
Дата 16	4,48	28,443	17	5,5	76,259
Июнь			Дата 25	7,07	98,925
Дата 3	4,47	27,816	27	5,86	86,066
4	5,57	78,431	30	6,69	97,51
17	7,17	90,042	31	5,15	63,351
			Июнь		
			Дата 2	6,02	89,391
			5	7,04	98,873
2000г.			2007г.		
Апрель	pH ос.	%расч.	Апрель	pH ос.	%расч.
Дата 3	7,37	99,06	Дата 3	6,9	98,5
Май			15	5,8	64,611
Дата 2	7,65	98,829	16	5,48	75,614

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6
12	6,59	96,814	17	6,28	93,572
13	6,47	95,764	18	6,28	93,572
14	4,15	2,364	Май		
			Дата 2	6,44	95,463
Июнь			8	6,83	98,24
Осадков не было			Июнь		
			Дата 3	6,77	97,96
			4	6,48	95,861
			4	6,31	93,964
2011г.			2012г.		
Апрель	pH ос.	% расч.	Апрель	pH ос.	% расч.
Дата 3	6,95	88,01	Дата 2	5,7	82,12
5	7,15	99,025	7	5,74	83,167
10	6,61	96,966	8	5,49	75,938
11	6,36	94,678	9	6,22	92,734
12	6,43	95,358	15	6,05	89,949
14	6,36	94,678			
15	6,35	94,459	Май		
19	6,35	94,459	Дата 7	6,4	95,035
20	5,85	85,838	24	6,69	97,51
30	6,16	63,351	25	6,65	97,25
Май			29	6,51	96,141
6	5,94	87,804			
10	6,68	97,448	2013г.		
13	6,2	92,438	Апрель	pH ос.	%расч.
14	6,83	98,24	Дата 2	7,23	99,073
21	6,06	90,13	9	6,62	97,039
26	5,33	70,424	10	4,92	52,923
			14	5,40	72,924
			15	4,97	55,326
			21	5,76	83,675
			Май		
			Дата 24	7,12	98,994

Расчетные данные Таблицы 7 получены исходя из экспериментальных данных, приведенных в таблице 6. Расчет был проведен при помощи полинома 4-й степени, где были получены следующие коэффициенты полинома: $C_0 = -506,966$; $C_1 = 142,052$; $C_2 = 7,142$; $C_3 = -3,72$; $C_4 = 0,224$

Можно также рассчитать взаимосвязь между процентом полноценных семян и показателем pH осадков при помощи следующего уравнения:

$$Y = -11,031 X^2 + 152,16 X - 426,4,$$

где Y – расчетный процент жизнестойких семян, %, X – pH атмосферных осадков

Полученная зависимость имеет высокую степень связи: $r = 0,9316$, $R^2 = 0,8679$.

Проанализируем данные таблицы 8 для вида *J. oxycedrus* – (время цветения – конец апреля – начало мая) для Южного берега Крыма (заповедник «Мыс Мартьян»,

Никитский ботанический сад): в 1996 г. время цветения этого вида было 22.04 – 06.05, расчетное прораствание пыльцы равнялось 47,369%; в 1999 г. время цветения – 23.04 – 07.05, расчетное прораствание пыльцы составляло 56,731%; в 2000 г. время цветения – 25.04 – 09.05, расчетное прораствание пыльцы – 98,829%; в 2007 г. время цветения – 24.04 – 08.05, расчетное прораствание пыльцы – 98,24%; в 2011 г. время цветения – 20.04 – 05.05, расчетное прораствание пыльцы – 85,84%; в 2012 г. время цветения – 23.04 – 07.05, расчетное прораствание пыльцы – 95,03%; в 2013 г. время цветения – 21.04 – 05.05, расчетное прораствание пыльцы – 83,67%.

Таким образом, анализ показывает, что для этого вида можжевельника процент прораствания пыльцы находился в диапазоне 47,36 – 98,82. Температура воздуха в момент опыления была выше 16°C, т.е. влияние на прораствание пыльцы не оказывала. Количество полноценных семян этого вида можжевельника в 2000, 2007, 2011, 2012, 2013 годах равнялось 83 – 98%, а в 1996, 1999 годах их было почти в 2 раза меньше.

Аналогичные результаты можно получить для других видов растений. По результатам этих исследований нами был получен патент Украины [9].

Выводы

В таком, казалось бы, экологически чистом регионе, как Никитский ботанический сад и заповедник «Мыс Мартыан», существует проблема загрязнения окружающей среды.

рН кислотных осадков со значением меньше 4,7 – 5,0 составляют в Ялте 10 – 19% от их общего количества и, естественно, наносят вред окружающей среде.

Атмосферные осадки на ЮБК характеризуются повышенным содержанием соединений – производных от оксидов серы и азота.

Регулярные измерения и анализ атмосферного воздуха и осадков имеют значение как исходная база данных для мониторинга эволюции состояния окружающей среды.

В связи с переводом отопительных систем на природный газ наблюдается некоторое сокращение этих выбросов в атмосферу.

Биоиндикационные методы дают возможность индикации и прогноза повреждения самих растений и экспозиции, измеряемой месяцами и годами, а также наблюдений на обширных природных территориях.

Измеряя рН осадков и температуру воздуха в месте произрастания данного вида древесных растений в момент опыления, вычисляют % прораствания жизнестойких семян по предложенной нами методике.

Результаты исследований могут быть использованы при интродукции различных видов, а также в экологии и лесоводстве при изучении антропогенной нагрузки на определенный географический регион.

Список литературы

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51 – 57.
2. Гитарский М.Л., Карабань Р.Т., Сисигина Т.И. Оценка критических уровней концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе для северных лесов России. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб: Гидрометеиздат. – 1996. – Т. XII. – С. 37 – 50
3. Голубинский Н.И. Биология прораствания пыльцы. – Киев: Наукова думка, 1974. – 367с.

4. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Л. Кислотные дожди. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 206 с.
5. Крючков В.В. Биоиндикация природной среды на Севере // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. – М.: Наука, 1987. – С. 60 – 67.
6. Левон Ф.М. Зелені насадження в антропогенно-трансформованому середовищі. – Київ: ННЦ «Інститут аграрної економіки», 2008. – 362 с.
7. Махнева С.Г. Особенности развития мужского гаметофита сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения // Соц. эконом. и экологические проблемы лесного комплекса: материалы международной научно-технической конференции. – Екатеринбург, 1999. – С. 64.
8. Смит У.Х. Лес и атмосфера. Взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха. – М.: Прогресс, 1985. – 430 с.
9. Ушкаренко В.О., Федорчук М.І., Ільницький О.А. [та ін.] Пат. 5066 Україна МПК А01В 79/00. Спосіб визначення повноцінного насіння деревинних рослин – Заявл. 22.10.2009; опубл. 25.06.2010, Бюл. №12.
10. Фукассан И.Л. Роль веществ вторичного метаболизма в индикации состояния древесных растений в условиях стресса (обзор) // Растительные ресурсы. – 2003. – Т. 3. – Вып. 3. – С. 153 – 160.
11. Хуттунен С. Влияние соединений серы на окружающую среду. Атмосферный вклад в загрязнение региона Балтийского моря // Комиссия по научно-техническому сотрудничеству между Финляндией и СССР. – Хельсинки, 1985. – 26 с.
12. Чертов С.Н., Якрмишо В.Т. Международный симпозиум "Загрязнение воздуха и стабильность экосистем хвойных лесов" (ЧССР, 1-5 октября 1984 г.) // Ботан. журнал. – 1986. – Т. 71. – № 2. – С. 276 – 278.
13. Щербатюк Л.К. Определение уровня загрязнения атмосферы двуокисью серы по содержанию избыточного сульфата в атмосферных осадках // Труды ИПГ им акад. Федорова. – 1988. – Вып. 71. – С. 64 – 68.
14. Щербатюк Л.К. Опыт экологического мониторинга в Крыму: соединения серы и лесные насаждения. – Ялта, 2002. – 140 с.
15. Ashenden T.W., Williams J.H. Differences in the spectral characteristics of birch canopies exposed to simulated acid rain // New Phytol. – 1988. – V. 109, № 1. – P. 79 – 84.
16. Cowling E.B., Davey C.B. Acid precipitation: basic principles and ecological consequences // Pulp. and Pap. – 1981. – №2. – P. 182 – 185.
17. Cox R.M. Sensitivity of forest reproduction long range transported air pollutants : in vitro sensitivity of pollen to simulated rain // New Phytol. – 1983. – V. 95, №2. – P.269 – 276.
18. Dighton J., Skeffington R.A. Effects of artifidal acid precipitation on the mycorrhizas of Scots pine seedlings // New Phytol. – 1987. – V. 107, № 1. – P. 191 – 202.
19. Materna J. Beziehungen zwischen der SO₂ – Konzentralion und der Reaktion der Fichtenbestande // Aquilo, ser. bot. 19. Oulm Finland. – 1983. – P. 147–156.
20. Varhelyi G. Continental and global sulfur budgets // Atmos. Envi-on. – 1985. – V. 19, №7. – P. 1029 – 1036.

Статья поступила в редакцию 19.09.2014 г.

Ilnitsky O.A., Plugatar Yu.V., Korsakova S.P. The problem of "acid rain" on the South Coast of the Crimea and its influence on the vegetation // Bul. Nikit. Botan. Gard. – 2014. – № 111. – P. 7 – 21.

The problem of acid rains in nature-reserve "Cape Martyan" in Nikitsky Botanical Gardens and in Yalta has been studied during many years. The influence of these rains on the vegetation on the example of juniper in nature-reserve "Cape Martyan" has been given. The given method has been patented and has the scientific interest.

Key words: *acid precipitation, environmental monitoring, reserve "Cape Martyan ", Weather "Nikita's Garden" and "Yalta" reproductive sphere of woody plants.*