

УДК 504.3.05/.06

**ДИНАМИКА ИОННОГО СОСТАВА И КИСЛОТНЫЕ  
СВОЙСТВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ПРИКАЗАНСКОГО  
РЕГИОНА (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)**

*В.З. Латыпова, О.Г. Яковлева, Е.А. Минакова,  
Г.Н. Жданова, С.Д. Захаров*

**Аннотация**

Исследование атмосферных осадков, отбираемых на территории Республики Татарстан (метеостанции «Казань-опорная» и «Вязовые»), позволило выявить некоторые особенности формирования и трендов их ионного состава. Охарактеризованы основные источники поступления компонентов солевого состава и оценен вклад антропогенной составляющей содержания хлорид- и сульфат-ионов в атмосферных осадках. Рассмотрены факторы формирования кислотно-основных свойств атмосферных осадков. Дана оценка возможности закисления ими подстилающей поверхности.

**Введение**

Исследование химического состава атмосферных осадков является одной из важных задач мониторинга окружающей природной среды, т. к. позволяет одновременно получать информацию и об уровне загрязнения атмосферного воздуха, и о возможных последствиях этого загрязнения для сопредельных сред – почв, растительности, поверхностных вод.

Как косвенный индикатор уровня загрязнения атмосферного воздуха, химический состав осадков помогает охарактеризовать важнейшие примеси, содержащиеся в воздухе, их природное или антропогенное происхождение, источники поступления, наметить первоочередные воздухоохраные мероприятия. С другой стороны, еще задолго до изменений на подстилающей поверхности анализ динамики химического состава атмосферных осадков и их потенциальной опасности для окружающей среды позволяет предсказать эти изменения и предотвратить их.

Цель данной работы состояла в том, чтобы дать характеристику особенностям формирования ионного состава атмосферных осадков на территории Республики Татарстан (РТ), выявления антропогенной составляющей в общем уровне солесодержания и оценки их потенциальной опасности для закисления подстилающей поверхности. Анализировались данные УГМС РТ по составу атмосферных осадков, отобранных на двух метеостанциях («Казань-опорная» и «Вязовые») в период 1991–1996 гг.

## 1. Характеристика района исследований

Метеостанции «Казань-опорная» (1) и «Вязовые» (2) расположены в зоне смешанных лесов Предкамья и Заволжья Республики Татарстан: станция 1 – на водоразделе двух рек – Казанки и Камы, впадающих в р. Волгу; станция 2 – на северной оконечности Предволжской возвышенности.

Исследуемый регион характеризуется умеренным увлажнением. Годовая сумма осадков в 1991–1996 гг. составляла 368–744 мм. Наиболее интенсивные дожди наблюдались в теплый период года. Преобладающее направление ветров на обеих метеостанциях – южное.

## 2. Методика исследований

В пробах атмосферных осадков определяли содержание основных компонентов солевого состава, а также степень кислотности (рН). Анализ производили по стандартным методикам, рекомендованным для использования на сети Росгидромета [1].

Осреднение результатов анализа производили путем расчета средневзвешенных по объему концентраций ионов в осадках за год, которые в лучшей степени, чем средние арифметические величины, отражают среднюю концентрацию ионов в годовой сумме осадков и среднюю годовую нагрузку на подстилающую поверхность, т. к. учитывают не только концентрацию веществ в ежемесячно отбираемых пробах, но и количество осадков с такой концентрацией. Расчет средневзвешенных значений  $pH_{ср}$  атмосферных выпадений проводили после пересчета экспериментальной величины рН для каждой пробы в молярную концентрацию ионов водорода с последующим вычислением средневзвешенной величины, которую вновь логарифмировали.

Содержание многих ионов в атмосферных осадках в значительной степени зависит от географического положения. Однако независимо от этого, важным источником обогащения осадков ионами является вынос морских аэрозолей. Для выявления доли ионов неморского происхождения (континентального или антропогенного) учитывалось отклонение приведенной к реперному иону ( $Na^+$ ) концентрации данного иона (X) для атмосферных осадков  $(C_X/C_{Na})_{атм.}$  от аналогичного отношения массовых концентраций  $(C_X/C_{Na})_м.$  в морской воде (табл. 1).

Характеристику кислотно-основных свойств атмосферных осадков в основном производили по величине рН. Однако, учитывая, что не только протоны, но и другие ионы, содержащиеся в осадках, участвуют в формировании их кислотно-щелочного баланса, а некоторые из них после выпадения на подстилающую поверхность включаются в процессы, изменяющие ее кислотно-основные свойства, анализ потенциальной закисляющей способности осадков производили с помощью предложенных в [2] соотношений между нормальными концентрациями этих ионов.

Основным кислотным агентом, содержащимся в осадках, в настоящее время считается серная кислота, и индикатором ее количества может служить нормальная концентрация сульфат-ионов. Однако опасность кислотного загрязнения представляет лишь свободная серная кислота, а она частично может быть нейтрализована солями кальция и магния (карбонатами и гидрокарбона-

тами), содержащимися в осадках. На этом основано понятие закисляющего потенциала (AP), рассчитываемого по уравнению (1):

$$AP = [\text{SO}_4^{2-}] - [\text{Ca}^{2+}] - [\text{Mg}^{2+}], \quad (1)$$

и характеризующего концентрацию свободных сульфатов в атмосферных осадках.

Ионы, содержащие биогенные элементы, в первую очередь азот, после выпадения на подстилающую поверхность включаются в биохимические процессы, влияющие на кислотно-основные свойства среды.

Так, процесс окисления катионов аммония с участием нитрификаторов приводит к подкислению среды, а нитрат-ионы, участвуя в процессе синтеза органического вещества, напротив, сдвигают баланс в сторону защелачивания.

Учет влияния этих процессов на формирование кислотно-основных свойств подстилающей поверхности производили путем расчета параметра АД [2]:

$$AD = [\text{H}^+] + [\text{NH}_4^+] - [\text{NO}_3^-], \quad (2)$$

характеризующего величину кислотных выпадений с атмосферными осадками. Из уравнения (2) следует, что опасность кислотных осадков для подстилающей поверхности возрастает в результате протекающих на ней процессов лишь в случае преобладания содержания катионов аммония в осадках относительно концентрации нитратов.

### 3. Тренды ионного состава атмосферных осадков, вклад антропогенной составляющей

Анализ химического состава атмосферных осадков производили по основным ионам:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , средневзвешенные за год концентрации которых представлены в табл. 1.

Удаленность от морского побережья обуславливает довольно низкую абсолютную концентрацию ионов натрия в осадках (0.59–1.5 мг/л). С другой стороны, континентальное положение приводит к пылевому выносу в атмосферу кальция, калия и магния и довольно высокому содержанию их ионов в дождевой воде (кальция – 2.06–4.43, калия – 0.45–1.0 и магния – 0.46–1.23 мг/л).

Значительная часть ионов кальция и магния в атмосферных осадках формируется, вероятно, и за счет промышленных выбросов в атмосферу городов Казани и Зеленодольска, т. к. концентрация их в осадках, отобранных в Высокогорском районе РТ (в северной, наиболее удаленной от промышленных центров части), составила в 1996 г. в среднем 2.1 мг/л и 0.12 мг/л соответственно. Снижение концентрации двухвалентных катионов с увеличением расстояния от промышленных центров свидетельствует о том, что они переносятся в атмосфере в виде сухих и влажных аэрозолей, а поэтому обладают ограниченной подвижностью.

Содержание гидрокарбонат-ионов в осадках примерно на порядок превосходит то, которое могло бы образовываться за счет растворения диоксида углерода, содержащегося в атмосфере при наблюдаемых значениях рН осадков (4.98–6.19). Поэтому можно предположить, что основным источником гидрокарбонатов в осадках является процесс выветривания карбонатных пород. Это

подтверждается, с одной стороны, совпадением сезонной динамики гидрокарбонат-ионов и катионов кальция за весь период наблюдения, а с другой – тем фактом, что максимумы среднесезонных концентраций этих ионов приходятся, как правило, на весенне-летний и осенний периоды, когда отсутствует снежный покров и интенсифицируется процесс выветривания пород.

Наиболее серьезные сезонные колебания претерпевает концентрация катионов аммония в атмосферных осадках. Это связано, вероятно, с интенсивным распадом и биотрансформацией азотсодержащих удобрений в летний период и активизацией атмосферной составляющей одного из важнейших биогенных элементов – азота.

Источниками обогащения атмосферных осадков хлорид- и сульфат-ионами, кроме морских аэрозолей, могут являться выбросы промышленных предприятий. Причем вклад их, по-видимому, весьма существенен, учитывая несоответствие наблюдаемых соотношений между величинами  $(C_{Cl}/C_{Na})$  и  $(C_{SO_4}/C_{Na})$  в атмосферных осадках и принятыми в качестве стандарта отношениями в морских аэрозолях (табл. 1).

Отклонения экспериментального отношения  $(C_{Cl}/C_{Na})_{атм.}$  в осадках от стандартного  $(C_{Cl}/C_{Na})_м.$  позволили рассчитать долю антропогенных хлоридов в осадках (табл. 2), изменяющуюся за рассматриваемый период от 0 до 63% от их общего содержания.

Среднегодовое содержание сульфатов за рассматриваемый период колеблется от 3.85 до 8.86 мг/л (табл. 1). Учитывая, что концентрация сульфатов морского происхождения составляет 25% от содержания натрия (табл. 1), можно оценить количество сульфатов морского происхождения в осадках: оно варьируется в пределах 0.15–0.38 мг/л. Таким образом, 93–98% сульфатов (табл. 2), выпадающих с дождем и снегом в исследованных районах РТ, поступает в атмосферу с антропогенными выбросами. В общем объеме соединений серы, включая и сухие выпадения, антропогенная составляющая может оказаться еще выше.

Анализируя динамику среднегодовых концентраций ионов за рассматриваемый период (табл. 1), следует отметить, что для большинства ионов характерны незначительные изменения концентраций, проявляющиеся в виде колебаний возле некоторого относительно постоянного уровня. К таким ионам относятся гидрокарбонат-ионы, а также катионы натрия, магния, калия и кальция.

Для сульфат- и хлорид-ионов отмечается устойчивая тенденция к уменьшению среднегодовых концентраций в осадках, обусловленная, по-видимому, уменьшением антропогенной составляющей.

К третьей группе ионов относятся катионы аммония и нитрат-ион, концентрации которых в осадках увеличиваются год от года. Предшественниками нитрат-ионов в осадках являются оксиды азота, выбрасываемые в атмосферу автотранспортом, а также образующиеся из атмосферного азота при высокотемпературных процессах (сжигание топлива, плавка металлов и т. д.). И если меры борьбы с оксидами серы – предшественниками антропогенных сульфатов в осадках – достаточно эффективны, то внедрение эффективных методов улавливания оксидов азота из газовойоздушных смесей все еще остается не вполне решенной задачей. С этим, по-видимому, и связан тот факт, что, несмотря на

Табл. 1  
Средневзвешенные по объему годовые концентрации (мг/л) основных ионов в атмосферных осадках Приказанского региона РТ

Год	pH <sub>ср</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Метеостанция 1										
1991	6.19	8.86	2.04	7.72	2.66	1.28	0.95	0.77	3.99	0.95
1992	5.56	7.28	2.89	5.32	3.39	0.67	0.59	0.64	3.98	0.73
1993	5.22	7.56	2.15	4.89	3.18	0.69	0.67	0.56	4.06	0.69
1994	5.20	8.26	2.26	6.42	3.70	0.99	0.93	0.51	3.88	0.91
1995	6.17	3.85	1.44	3.82	4.36	1.37	0.67	0.45	2.15	0.46
1996	6.04	5.28	1.70	8.11	4.24	1.51	0.65	0.63	3.30	0.94
Метеостанция 2										
1991	5.28	8.44	1.98	8.09	3.28	0.76	0.68	0.67	4.43	1.23
1994	4.98	5.63	1.62	7.89	3.63	1.89	1.50	1.00	2.06	0.58
1995	5.03	4.16	1.39	8.12	4.48	1.83	0.86	0.63	1.62	1.04
$\left(\frac{C_x}{C_{Na}}\right)_M$	-	0.251	1.80	-	-	-	1.00	0.036	0.038	0.12

Табл. 2

Вклад (%) антропогенной составляющей содержания хлорид- и сульфат-ионов в атмосферных осадках Приказанского региона РТ

Год	Хлориды	Сульфаты
Метеостанция 1		
1991	16.2	97.3
1992	63.0	97.9
1993	43.7	97.8
1994	26.1	97.2
1995	16.0	95.6
1996	31.2	97.0
Метеостанция 2		
1991	38.2	97.9
1994	0	93.3
1995	0	94.8

падение уровня промышленного производства и внедрение природоохранных мероприятий, содержание оксидов азота в воздухе и нитрат-ионов в осадках возрастает год от года.

#### 4. Потенциальная закисляющая способность осадков

Средневзвешенные по объему годовые величины  $pH_{cp}$  атмосферных осадков (табл. 1), выпавших за рассматриваемый период в районе метеостанций 1 и 2, изменяются в диапазоне от 4.98 до 6.19 единиц pH и почти в 80% случаев оказываются ниже фоновых значений pH (5.6), обусловленных растворенным диоксидом углерода.

Анализ среднемесячных величин pH показал, что в 17% случаев отобранные пробы осадков были кислыми ( $pH < 5$ ), а в 7% случаев – даже весьма кислыми ( $pH < 4.5$ ). Наиболее низкие значения pH, а, следовательно, и наиболее кислые осадки наблюдались на метеостанции 1 в мае 1993 г. ( $pH$  4.35) и на метеостанции 2 в июле 1994 г. ( $pH$  4.35) и в ноябре 1995 г. ( $pH$  4.30). Столь низкие значения pH атмосферных осадков не могут быть обусловлены природными факторами и, несомненно, определяются наличием в атмосфере антропогенных примесей кислотного характера. Источниками таких примесей могут служить выбросы промышленных предприятий и транспорта городов Казани и Зеленодольска, а также дальний атмосферный перенос из крупных промышленных регионов.

Проведенный анализ среднемесячных и среднегодовых значений pH атмосферных осадков показывает, что в рассматриваемом регионе периодически возникает проблема кислотных выпадений. Поэтому выявление важнейших кислотообразующих компонентов в химическом составе атмосферных осадков и их возможного воздействия на подстилающую поверхность является весьма актуальной задачей.

Связь концентрации водородных ионов с содержанием сульфатов в осадках неоднократно отмечалась в литературе [2–4]. Однако среднемесячные кон-

Табл. 3  
Характеристики кислотных выпадений (АД) и закисляющего потенциала (АР) атмосферных осадков Приказанского региона РТ

Год	АД, мкг-экв/л (2)	АР, мкг-экв/л (1)
Метеостанция 1		
1991	14	-94
1992	-15	-108
1993	-7	-103
1994	2	-97
1995	13	-66
1996	16	-133
Метеостанция 2		
1991	-5	-148
1994	57	-48
1995	39	-81

центрации сульфатов в осадках Приказанского региона с величиной их рН не коррелируют. Причина этого, вероятнее всего, кроется в том, что не все осадки являются достаточно кислыми, и кислотно-основные свойства их определяются не только серной кислотой.

Действительно, для нейтральных и щелочных осадков ( $\text{pH} > 5.0$ ) установлена удовлетворительная связь ( $r = 0.68$ ) между среднемесячной концентрацией гидрокарбонат-ионов и величиной рН, описываемой уравнением:

$$[\text{HCO}_3^-] \text{ (мг/л)} = (18 \pm 3) \cdot \text{pH} - (104 \pm 17). \quad (3)$$

С другой стороны, для кислых осадков ( $\text{pH} \leq 5$ ) обнаружена зависимость между среднемесячной концентрацией сульфат-ионов и величиной рН:

$$[\text{SO}_4^{2-}] \text{ (мг/л)} = -(9 \pm 4) \cdot \text{pH} + (45 \pm 20); \quad r = 0.67. \quad (4)$$

Таким образом, для нейтральных и щелочных осадков, преобладающих пока на рассматриваемой территории, кислотно-щелочной баланс определяется в основном карбонатной системой. Периодически выпадающие кислые осадки формируют свою кислотность, по-видимому, в значительной степени за счет серной кислоты.

В настоящее время считается возможным закисление подстилающей поверхности (почв, поверхностных вод) при уровне выпадения сульфатов, превышающем  $1.5 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  [2].

В рассматриваемом регионе уровни выпадения сульфатов значительно выше ( $2.74\text{--}4.44 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ), однако существенного закисления сопредельных сред не зафиксировано. Причина этого может заключаться в том, что в исследованных осадках высоко содержание двухвалентных катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , соли которых (карбонаты и гидрокарбонаты) нейтрализуют серную кислоту. Действительно, величины закисляющего потенциала (АР), рассчитываемые по уравнению (1), для всего периода наблюдений имеют отрицательные значения (табл. 3).

Следовательно, концентрация сульфатов в исследованных осадках не может служить индикатором их потенциальной закисляющей способности, по-

сколькx практически все сульфат-ионы в осадках ассоциированы с катионами кальция и магния, а не с протонами. Кроме того, следует отметить, что в последние годы наблюдается устойчивая тенденция к снижению суммарного годового выпадения сульфатов с осадками, а следовательно, и к уменьшению вклада серной кислоты в формирование кислотности атмосферных выпадений.

Помимо оксидов серы, определенный вклад в закисление атмосферных осадков вносят соединения азота. Роль их особенно возрастает в тех регионах, где суммарная концентрация соединений азота в осадках соизмерима с содержанием сульфатов.

Как видно из рис. 1, концентрация соединений азота в осадках рассматриваемого региона не только соизмерима, но в последние годы даже превосходит концентрацию сульфат-ионов.

Кроме того, плотность выпадения нитратов в исследуемых регионах составляет 1.08–3.24, а катионов аммония – 0.37–0.96 г/(м<sup>2</sup>·год), что значительно превышает годовую нагрузку этих ионов в некоторых регионах России с высокой потенциальной закисляющей способностью осадков [2]. Учитывая эти факты, а также отмеченную выше тенденцию к постепенному уменьшению выпадения сульфатов с осадками наряду с наблюдаемым увеличением концентрации в них соединений азота (рис. 1), можно заключить, что роль последних в формировании кислотности осадков Приказанского региона РТ достаточно высока и возрастает год от года.

По соотношению между нормальными концентрациями нитрат- и сульфат-ионов в осадках количественно оценен вклад азотной кислоты в формирование кислотности осадков рассматриваемых регионов, изменяющийся от 19% (в начале 1990-х годов) до 47% (в последние годы) от общего содержания антропогенных кислотных примесей (т. е. серной и азотной кислот). Не случайно поэтому, что наряду с зависимостью между среднемесячной концентрацией сульфат-ионов и величиной рН для кислых осадков (4), найдена и зависимость между концентрацией нитрат-ионов и величиной рН:

$$[\text{NO}_3^-] \text{ (мг/л)} = - (13 \pm 7) \cdot \text{pH} + (68 \pm 32); \quad r = 0.65, \quad (5)$$

свидетельствующая в пользу вывода о существенном вкладе азотной кислоты (а, следовательно, и оксидов азота) в формирование кислотности осадков рассматриваемом регионе.

Дополнительное образование ионов водорода на подстилающей поверхности уже после выпадения осадков за счет биологического потребления катионов аммония или защелачивание при потреблении нитратов учтено нами путем расчета параметра АД в соотношении (2), характеризующего величину кислотных выпадений.

Отрицательные значения этого параметра (табл. 3) свидетельствуют о том, что при достаточно низком содержании свободных протонов концентрация нитрат-ионов превосходит концентрацию катионов аммония, и процессы на подстилающей поверхности будут частично нейтрализовывать негативное воздействие кислотных осадков.



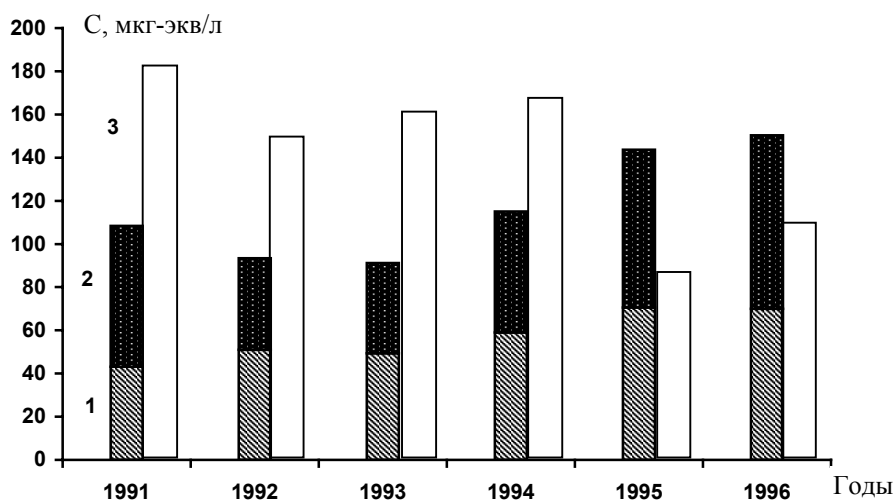


Рис. 1. Динамика среднегодовой концентрации ионов, определяющих закисляющую способность атмосферных осадков, отобранных на метеостанции «Казань-опорная». 1 – нитрат-ионы; 2 – катионы аммония; 3 – сульфат-ионы

Положительные значения АД, напротив, свидетельствуют об усилении негативного воздействия кислотных осадков за счет процессов, протекающих на подстилающей поверхности. Особенно высокие значения АД наблюдались в 1994–1996 гг. (табл. 3), когда их абсолютные величины превосходили концентрацию протонов. Как абсолютные значения АД в последние годы, так и наблюдаемая тенденция изменения этого параметра свидетельствуют о том, что атмосферные осадки Приказанского региона РТ могут представлять опасность для закисления маломинерализованных водоемов с атмосферным питанием или почв, слабо насыщенных основаниями, не только за счет кислотных примесей, содержащихся в самих осадках, но и в значительной степени за счет последующей биотрансформации азотсодержащих соединений, выпадающих с ними на подстилающую поверхность.

### Заключение

Таким образом, анализ ионного состава атмосферных осадков, отобранных в 1991–1996 гг. на метеостанциях «Казань-опорная» и «Вязовые» (РТ), позволил охарактеризовать основные источники поступления компонентов их солевого состава, выделить долю антропогенных хлорид- (0–63%) и сульфат-ионов (93–98%) в осадках, выпадающих на территории Приказанского региона.

По среднемесячным величинам рН атмосферных осадков зафиксировано периодическое выпадение кислых ( $\text{pH} < 5$ ) и очень кислых ( $\text{pH} < 4.5$ ) осадков. Кислотность их обусловлена преимущественно оксидами серы, однако доля оксидов азота, оцененная в 19–47%, возрастает с каждым годом. Судя по среднегодовым величинам  $\text{pH}_{\text{ср}}$  (4.98–6.19), осадки Приказанского региона РТ пока не представляют существенной угрозы для закисления подстилающей поверхности содержащимися в них кислыми примесями, т. к. последние в значительной степени нейтрализованы аммиаком, карбонатами и гидрокарбонатами. Однако

при малой буферности подстилающей поверхности возможно ее закисление в результате биотрансформации соединений азота, выпадения которых с осадками продолжают расти.

В заключение следует отметить, что особенностью стандартной программы мониторинга атмосферных осадков является контроль кислотности усредненных, например месячных, проб. Он маскирует истинную картину и не позволяет обнаружить периодически выпадающие сильнокислые осадки на фоне обильных слабокислых или нейтральных. Поэтому реальная кислотность отдельных дождей, выпадающих на рассматриваемой территории, может оказаться значительно выше.

### Summary

*V.Z. Latypova, O.G. Yakovleva, E.A. Minakova, G.N. Zhdanova, S.D. Zaharov.* Dynamics of ionic composition and acidic properties of atmospheric precipitation of the Kazan area region (Tatarstan).

Investigation of atmospheric precipitation to be selected at two weather stations of the Kazan area region of the Republic of Tatarstan has allowed revealing some peculiarities and trends of their ionic composition. Main sources of salt composition are characterized and contribution of anthropogenic component of chloride and sulphate ions in the precipitation has been estimated. Factors of formation of acid-basic properties of precipitation and the possibility of acidification of the underlying surface have been considered.

### Литература

1. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. – М.: Гидрометеоиздат, 1991. – С. 426–494.
2. *Комов В.Т., Лазарева В.И.* Причины и последствия антропогенного закисления поверхностных вод северного региона на примере сравнительно-лимнологического исследования экосистем озер Дарвинского заповедника // Тр. Ин-та биологии внутренних вод РАН. – 1994. – № 70. – С. 3–30.
3. *Аблеева В.А., Лихтенс Е.С.* Кислотные дожди в Центральной России // Природа. – 1995. – № 3. – С. 94–95.
4. *Oden S.* The acidity problem – an outline of concepts // Water, Air and Soil Pollut. – 1976. – № 6. – P. 2–4.

Поступила в редакцию  
23.08.05

---

**Латыпова Венера Зиннатовна** – доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой прикладной экологии Казанского государственного университета.

**Яковлева Ольга Геннадьевна** – кандидат химических наук, доцент кафедры прикладной экологии Казанского государственного университета.

**Шлычкова Елена Анатольевна** – кандидат географических наук, доцент кафедры биоэкологии Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета.

**Жданова Галина Николаевна** – кандидат химических наук, зам. начальника УГМС РТ.

**Захаров Сергей Дмитриевич** – начальник УГМС РТ.