

П. П. ВОРОНКОВ

О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

(Представлено академиком А. Г. Бетехтиным 11 VIII 1954)

Влияние химического состава атмосферных осадков наиболее существенно сказывается на поверхностных водах севера, причем содержание некоторых главнейших ионов в этих водах в значительной мере может определяться количеством их, находящимся в водах атмосферы. По мере следования к югу это влияние постепенно уменьшается, поскольку содержание легкорастворимых соединений в толще почво-грунтов в этом направлении сильно возрастает. Однако минерализация и химический состав атмосферных осадков в направлении с севера на юг также не остаются постоянными, изменяясь в зависимости от степени влияния основных источников — «загрязнений» морского и терригенного характера.

Мировой океан является наиболее существенным источником ионного состава атмосферных вод. В этом отношении различают вертикальный «поток» растворенных морских солей и горизонтальный. Количественная оценка вертикального потока впервые произведена Р. И. Грабовским ⁽¹⁾. Наряду с поступлением морских солей в атмосферу осуществляется и постоянное их удаление из нее различными путями, в результате чего в этом процессе, очевидно, устанавливается подвижное равновесие. Горизонтальный поток, т. е. вынос растворенных морских солей на сушу, впервые исследовался С. В. Доброклонским и П. В. Вавиловым ⁽²⁾.

Преобладающими анионами в ионном составе морских вод являются ионы Cl' , составляющие 55% от суммы главнейших ионов. В составе катионов преобладают ионы Na^+ (0,55 от веса ионов Cl'). Ионов SO_4'' в морской воде содержится сравнительно немного: 0,14 содержания ионов Cl' ⁽³⁾. Такое соотношение количества ионов SiO_4'' и Cl' в атмосферных осадках сохраняется только вблизи моря и при удалении от последнего резко изменяется.

Для росы, собранной на Апшеронском полуострове, Л. К. Блиновым ⁽⁴⁾ было установлено отношение количества SO_4'' к Cl' (0,60—0,61), близкое к отношению (0,57) в воде Каспийского моря ⁽⁵⁾. Наряду с этим им было обнаружено уменьшение содержание ионов Cl' в атмосферных осадках по мере выпадения последних. Так, в воде, собранной в течение первых 15 мин., содержание ионов Cl' составляло 90,7 мг/л, тогда как через 30 мин. оно уменьшилось до 36,7 мг/л. Это дало основание Л. К. Блинову сделать заключение об определенной вымываемости ионов Cl' из атмосферы. Однако тщательными исследованиями Р. И. Грабовского вскоре было установлено, что вымываться дождевыми каплями из атмосферы могут лишь аэрозоли, диаметр которых превышает $1 \cdot 10^{-5}$ см, т. е. обладающие инерцией, достаточной для эффективной коагуляции дождевыми каплями ^(6, 7).

Из этого вытекает весьма важное следствие: если атмосфера не содержит относительно крупных частиц аэрозоля, химический состав атмосферных осадков может обуславливаться лишь растворимыми ядрами

Таблица 1

Химический состав атмосферных осадков северных районов лесной зоны

Место взятия проб	Дата	Высота снега, см	Взятый слой снега, см	рН		мг/л					
				набл.	рассч.	HCO ₃ '	SO ₄ "	Cl'	Ca..	Mg..	Na+K..
Снеговые воды района оз. Валдайского											
Лог Усадьевский	27 III 1948	58	0—44	4,5	4,38	—*	2,0	0,4	—	—	—
Валдайское озеро	28 III	33	0—12	4,5	4,51	—	1,5	0,6	—	—	—
Водосбор ручья Архиерейского	29 III	38	0—12	4,5	4,68	—	1,0	0,2	—	—	—
То же	29 III	38	12—25	4,5	4,30	—	2,4	0,3	—	—	—
Лог Таежный	30 III	58	0—52	4,5	4,25	—	2,7	0,4	—	—	—
Лог Приусадебный	31 III	70	0—68	4,5	4,57	—	1,3	0,7	—	—	—
Дождевая вода района г. Зеленогорска											
Полигон ГГИ	18 VIII— 12 IX 1950	—	—	5,0	4,48	—	1,6	0,5	—	—	—

* Черточки обозначают „аналитический“ нуль.

конденсации и продуктами окисления и гидратации SO₂ — ионами SO₄". Так как активными ядрами конденсации служат главным образом мельчайшие частицы NaCl (1), ионы Cl' и SO₄" должны в основном представлять состав анионов атмосферных осадков в том случае, когда атмосфера не загрязнена частицами терригенного характера крупнее $1 \cdot 10^{-5}$ см.

В связи с вышеизложенным большой интерес представляют воды верховых болот севера лесной зоны, поскольку ионный состав их может определяться главным образом химическим составом атмосферных осадков. Нашими исследованиями (1948—1950 гг.) установлено, что содержание ионов Cl' в болотных водах района Карельского перешейка в разные сезоны года колеблется в пределах 0,0—0,8 мг/л; содержание ионов SO₄" при этом изменяется от 2,5 до 12,4 мг/л. В весенних же водах, стекающих с заболоченных участков логов в районе оз. Валдайского, содержание ионов Cl' колеблется от 0,1 до 0,6 мг/л, а содержание ионов SO₄" — от 5,2 до 12,5 мг/л (8).

Содержание рассматриваемых ингредиентов в болотных водах обоих районов оказывается более или менее одинаковым и постоянным в указанных пределах. Более того, содержание ионов Cl' в воде ручьев и малых рек района Карельского перешейка в течение всего года не превышает 1,5 мг/л и ионов SO₄" — 10 мг/л, а в воде малых водотоков района оз. Валдайского — 1,0 и 6,0 мг/л, соответственно.

Наряду с этим были проведены и исследования химического состава атмосферных осадков. В воде из снега, собранного в различных районах оз. Валдайского, содержание ионов Cl' колебалось в пределах 0,2—0,7 мг/л, а ионов SO₄" — 1,0—2,7 мг/л. Среднее содержание указанных ионов в дождевой воде района Карельского перешейка составляло 0,5 и 1,6 мг/л. Ионов Ca.. и Mg.. в атмосферных осадках нами не было обнаружено, что указывает на отсутствие в атмосфере районов исследования загрязнений терригенного характера. Очевидно, что в данном случае ионы SO₄" могли попасть в атмосферные воды только в результате растворения продуктов окисления SO₂. Действительно, концентрация ионов водорода, рассчитанная по содержанию в этих водах ионов SO₄", соответствовала величинам рН этих вод (см. табл. 1).

На основании вышеизложенного можно прийти к выводу, что основным источником ионов Cl' для атмосферных осадков северных территорий являются мельчайшие частицы NaCl, служащие ядрами конденсаций. Этим

объясняется малое и более или менее постоянное для севера содержание ионов Cl' как в атмосферных осадках, так и в поверхностных водах.

Содержание ионов SO_4'' определяется степенью загрязненности атмосферы SO_2 , в результате чего может колебаться более значительно, чем содержание Cl' . Дополнительным источником ионов SO_4'' для поверхностных вод севера являются продукты выветривания горных пород и органические вещества, разлагающиеся и минерализующиеся до SO_4'' в аэробных условиях торфяников, лесной подстилки и верхних слоев почвенного покрова.

Выводы в отношении ионов Cl' подтверждаются и исследованиями Р. И. Грабовского, которым установлено (1948—1950 гг.) колебание их количества в дождевых водах в пределах 0,02—0,42 мг/л, а в водах, полученных из снега, в пределах 0,23—2,91 мг/л. Содержание ионов Cl' в снеговых водах повышено благодаря явлению смерзания, которое способствует коагуляции более мелких частиц и капелек. Последним обуславливается большее количество ядер конденсации в одном и том же объеме воды атмосферных осадков, причем ядра конденсации солевого происхождения в зимнее время, к тому же, могут быть больших размеров ⁽⁶⁾.

Становится очевидным, что наблюдающиеся на севере колебания в содержании ионов Cl' являются не результатом различной загрязненности атмосферы хлоридами, а следствием соответствующих условий, определяющих преобладание в разных случаях осадкообразования процессов конденсации или коагуляции.

Вышеизложенное дает основание говорить о более или менее постоянном количестве хлоридов в нижних солях «чистой» атмосферы и об определенном их содержании в незагрязненных атмосферных осадках (главным образом в пределах 0,02—1,5 мг/л). Содержание всех остальных компонентов химического состава атмосферных осадков, так же как и повышенное количество ионов Cl' , является результатом вымывания их из загрязненных слоев атмосферы, степенью загрязненности которых и условиями вымывания определяется все то качественное и количественное разнообразие химического состава атмосферных осадков, которое было установлено различными исследованиями ⁽⁹⁻¹²⁾. Особое внимание поэтому следует обратить как на многообразие условий, определяющих количественную сторону процесса вымывания загрязнений гидрометеорами, так и на исключительное его значение.

Рассмотрим схематично некоторые случаи вымывания загрязнений из слоя атмосферы, находящегося между дождевым (или снеговым) облаком и почвенным покровом. Наиболее простым процесс вымывания представляется в условиях практически неподвижного слоя атмосферы. Поскольку в этом случае наибольшее количество загрязнений будет вымываться из атмосферы в начале осадкообразования, содержание растворенных веществ в дождевых или снеговых водах на всей территории их выпадения будет постепенно уменьшаться. После того как все загрязнения будут вымыты из атмосферы, химический состав осадков будет определяться лишь количеством и химическим составом растворимых ядер конденсации.

Подобное вымывание может довольно часто наблюдаться в природе, и этому его виду, в частности, соответствуют вышеуказанные наблюдения Л. К. Блинова ⁽⁴⁾. Аналогичное явление будет происходить и в случае одинаковой скорости движения дождевого облака и воздушных масс в одном направлении. Различными в этом случае будут лишь начальные и конечные пределы убывающей концентрации растворенных веществ в разных пунктах территории, последовательно омываемой атмосферными осадками.

Совершенно иным представляется процесс вымывания загрязнений атмосферными осадками в случае значительного различия в скорости

движения дождевого облака и проходящих под ним загрязненных воздушных масс. В данном случае наибольшее количество вымытых из атмосферы веществ может находиться в осадках той части территории, над которой будет происходить первоначальное промывание воздушных масс, врывающихся в «завесу» осадков. По мере удаления этого «фронта максимального загрязнения» от пункта сбора атмосферных осадков минерализация последних будет постепенно уменьшаться до минимальной. В случае приближения края дождевого облака, а следовательно, и указанного фронта к пункту сбора осадков, минерализация их будет увеличиваться. В природе, действительно, и наблюдается в одних случаях уменьшение, а в других — увеличение концентрации растворенных веществ по мере выпадения осадков. В этом отношении весьма ценными являются результаты наблюдений, проведенных Е. С. Селезневой ⁽¹¹⁾.

Несомненно, что исключительная динамичность этого весьма важного процесса может быть причиной разногласия в результатах исследований, поскольку существенные различия в минерализации и химическом составе атмосферных осадков могут быть обнаружены не только в разных участках района их выпадения, но и в одном и том же пункте, но в разное время.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что различная степень загрязненности атмосферы в разных районах и различие условий вымывания этих загрязнений в каждом отдельном случае, т. е. именно местные факторы, определяют то большое разнообразие минерализации и химического состава атмосферных осадков, которое установлено исследованиями.

Справедливость этого положения подтверждается и наблюдениями, проведенными в последнее время Е. С. Бурксер и др., согласно которым минимальное содержание ионов Cl' в атмосферных осадках, собранных на обширной территории различных географических зон, колеблется в пределах 0,8—3,2 мг/л ⁽¹²⁾. Как видим, при благоприятных к тому условиях содержание ионов Cl' и в атмосферных осадках южных районов может быть близким к содержанию их в «чистой атмосфере». Тем не менее максимальное содержание ионов Cl' , обнаруженное в атмосферных осадках указанного района исследования, колеблющееся в пределах 7,8—44,4 мг/л, подчеркивает роль местных условий в загрязнении атмосферы и, соответственно, осадков.

Становится очевидной необходимость отличать «временное», непосредственно эоловое местное загрязнение атмосферных осадков от более или менее «постоянного» т. е. обычного для атмосферы тех или иных районов различных географических зон. Тем не менее химический состав атмосферных осадков, обусловленный эоловыми загрязнениями, распространяют без существенного основания на обширные территории ⁽¹²⁾. Подобные обобщения тем более недопустимы, что полученные данные используются в агрохимических целях — для расчета количества тех или иных химических соединений, поступающих с атмосферными осадками на почвенный покров.

Государственный гидрологический институт
Ленинград

Поступило
17 V 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Р. И. Грабовский, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 2 (1952).
² С. В. Доброклонский, П. В. Вавилов, там же, № 1 (1948). ³ П. П. Воронков, А. А. Мусина, Тр. ГГИ, в. 8 (1939). ⁴ Л. К. Блинов, Тр. ГОИН, в. 15 (1950). ⁵ С. В. Бруевич, Гидрохимия Среднего и Южного Каспия, М.—Л., 1937.
⁶ Р. И. Грабовский, Вестник ЛГУ, № 10 (1951). ⁷ Р. И. Грабовский, там же, № 12 (1952). ⁸ П. П. Воронков, Тр. ГГИ, 33 (87) (1951). ⁹ Я. Витынь, Журн. опыт. агроп., 12, 1 (1911). ¹⁰ Н. И. Усов, Учен. зап. Саратов. ун-в., 12, в. 1 (1934). ¹¹ Е. С. Селезнева, Тр. НИУ Гидрометслужбы, 1, в. 7 (1945).
¹² Е. С. Бурксер, Н. Е. Федоров, Б. Б. Зайдис, Тр. Киевск. геофиз. обсерв., в. 1 (1952).