

**Г. А. МАКСИМОВИЧ**  
**О РОЛИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ПЕРЕНОСЕ**  
**РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ**

*(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 13 VII 1953)*

Атмосферные осадки физически изучены сравнительно хорошо. Учтено их количество и фазовый состав. Химическое же изучение дождевых и снежных вод сильно отстает, хотя оно и начато около 150 лет назад (10). До последнего времени в атмосферных осадках определялось, главным образом, только содержание отдельных компонентов – азота в виде нитритов, нитратов и аммиака; серы в виде сульфатного иона; хлора, иода и брома. Остальные элементы определяются сравнительно редко. Обычные химические анализы с определением основных компонентов: Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Na опубликованы в СССР в последнее время (1, 2, 4).

Вопрос о происхождении растворенных компонентов атмосферных осадков и их количестве представляет большой теоретический и практический интерес. На земную поверхность за год на 1 км<sup>2</sup> поступает вместе с осадками до 12 т растворенных веществ. Это дает для всей суши 1800 млн. т или 0,75 км<sup>3</sup>. Подсчет другим способом дает еще большую цифру. На сушу, не считая бессточные области, ежегодно выпадает 108 000 км<sup>3</sup> осадков. При средней минерализации осадков, по В. И. Вернадскому (5), 34 мг/л и удельном весе 2,5 это дает для суши (без бессточных областей) 1,47 км<sup>3</sup> в год. По подсчетам автора, реки выносят в океан 1,2 км<sup>3</sup> растворенных веществ. Получается, что химической денудации на Земле почти нет, так как реки выносят в океан только растворенные вещества, принесенные атмосферными осадками. Между тем, реками выносятся не только растворенные вещества атмосферных осадков, а при подземном питании – и продукты выщелачивания коры выветривания.

В. И. Вернадский считал, что состав метеорной воды – такая же основная константа в геохимии, как и состав океанической воды (5). Каковы же источники минерализации атмосферной капельно-жидкой воды и атмосферных осадков?

Основным источником минерализации облачных вод является океан, занимающий 5/8 земной поверхности. Соли поступают в атмосферу за счет истинного и «механического» испарения. Последнее представляет перенос ветром частиц морской воды вместе с их солями на континент и в высокие слои атмосферы. По Л. К. Блинову, этим путем возможен перенос морских солей на расстояние до 1000–4000 км (3). Блинову удалось вблизи моря микроскопически и микрохимически доказать образование из перенесенной ветром морской воды кристаллов галита и гипса.

Второй источник минерализации облачных вод – это газы и возгоны вулканов и фумарол. По подсчетам Л. С. Селиванова, вулканы ежегодно выбрасывают в атмосферу  $n \cdot 10^6 - n \cdot 10^7$  т хлора. Общее же количество его в атмосфере составляет  $n \cdot 10^8$  т (9). Некоторую роль играют газы вулканоидов (6). Атмосферные разряды приводят к образованию окислов атмосферного азота, количество которых не учтено. Растворение в облачной воде CO<sub>2</sub> при гидратации и диссоциации дает ионы водорода и 0,12 мг/л HCO<sub>3</sub> (1).

Все эти источники обуславливают минерализацию облачных вод, концентрация хлора в которых составляет 3,58 мг/л, а общая минерализация около 7 мг/л. Только для них, при современном уровне наших знаний, остается в силе положение В. И. Вернадского о постоянстве химического состава.

Для атмосферных осадков в результате выполненных в СССР в последние годы химических анализов (1, 2, 4) указанное положение должно быть оставлено. Оказалось, что состав атмосферных осадков зонален. В лесной зоне в них преобладают HCO<sub>3</sub>-Ca, в степной HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>, в сухих степях и полупустыне HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Cl-Na. Вблизи морского побережья (Франция) появляются хлоридно-сульфатно-натриевые осадки. Данными о химическом составе осадков в тундре, тропической зоне и в горах мы не располагаем.

Намечается связь химического состава атмосферных осадков с составом коры выветривания географических зон. Это связано с тем, что с континентов в тропосферу с восходящими воздушными течениями поднимаются пылевые частицы. Атмосферные осадки при падении с высоты 1 км каждым своим литром омывают 326 м<sup>3</sup> воздуха. При этом они очищают воздух от пылевых частиц и обогащаются солями. Пылевые и другие частицы, поднятые в тропосферу с поверхности коры выветривания, представляют, главным образом, почвенные образования. Последние тесно связаны с географическими зонами. Отсюда состав атмосферных осадков, так же как почвенных, грунтовых, речных и озерных вод, характеризуется широтной зональностью (7, 8).

Для морских побережий в осадках не всегда преобладают хлор, SO<sub>4</sub> и натрий, как это имело место в одном из химических анализов с Атлантического побережья Франции (11), который обычно приводился.

Единичные химические анализы дождевых вод, выпавших вблизи берега Черного и Азовского морей, указывают, что здесь имеют место HCO<sub>3</sub>-Ca-Na (Одесса) и HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Na (Осипенко) воды. Вблизи городов, как еще указывал В. И. Вернадский (5), сжигание угля и химическая промышленность обуславливают обогащение тропосферы серой и другими элементами.

Химические анализы осадков Европейской части СССР показывают, что минерализация их колеблется от 25 до 206 мг/л. По происхождению солей минерализация должна быть разделена на две неравные части.

1. Минерализация капельно-жидких вод высоких слоев атмосферы (облачные воды) – главным образом за счет морских солей при известном участии вулканических продуктов и других менее значительных источников (окись азота от атмосферных разрядов, HCO<sub>3</sub> от растворения CO<sub>2</sub> и др.) – до 7 мг/л.

Во время больших вулканических извержений характер минерализации изменяется и растет ее величина.

2. Минерализация атмосферных осадков за счет поднятых в тропосферу с поверхности континентов солей –

23–200 мг/л.

Величина минерализации и состав солей изменяются в зависимости от географической зоны. В прибрежной зоне к континентальным солям прибавляются и морские соли, причем количество последних увеличивается до 200 и более мг/л. Поступающие с атмосферными осадками континентальные соли при испарении частично остаются на земной поверхности и вновь могут быть подняты в воздух. Этим путем происходит внутренний солеоборот в пределах одной географической зоны.

Воздушные течения могут также переносить континентальные соли из одной зоны в другую. Так, в Низовое Поволжье и на Восточную Украину могут приноситься соли с поверхности пустынь Средней Азии, а на северный берег Средиземного моря – из Сахары. В момент межзонального перенесения растворимых веществ с земной поверхности химический состав атмосферных осадков будет отличен от характерного для данной географической зоны. Особенно часто эти явления имеют место в районах, находящихся на границе двух географических зон.

Концентрация атмосферных осадков меняется во времени. После длительного отсутствия осадков, вследствие очищающего действия дождя и снега, она наибольшая. При последующем выпадении осадков концентрация дождевых и снежных вод уменьшается.

Облачные воды высоких слоев атмосферы, минерализованные, главным образом, за счет морских и вулканических солей, приносят (без бессточных областей) при  $108\ 000\ \text{км}^3$  осадков с минерализацией 7 мг/л и удельном весе 2,5 растворенных веществ  $0,25\ \text{км}^3$ .

Атмосферные осадки, кроме того, приносят на ту же площадь суши  $0,5\ \text{км}^3$  растворенных веществ, поднятых в тропосферу с континентов. Общее количество растворенных веществ, поступающих на сточную часть суши,  $0,75\ \text{км}^3$ . Величина  $1,45\ \text{км}^3$ , полученная, исходя из средней минерализации атмосферных осадков в 34 мг/л, завышена. В. И. Вернадский (5) указывал, что она верна для Западной Европы и Северной Америки. В частности, она верна для Англии, где соли, принесенные с моря, играют большую роль.

Атмосферные осадки приносят на поверхность Земли значительное количество растворенных веществ. Для сточных областей они составляют около 40 % веществ, выносимых реками в океан.

Необходимо составить балансы веществ почв и коры выветривания для бассейнов отдельных рек. Подземный сток и химическая денудация представляют расходную часть баланса. В приходную часть, помимо удобрений, входят вещества, принесенные атмосферными осадками. При этом необходимо учитывать, что не все растворенные вещества, принесенные на земную поверхность осадками, засоляют почву. Между тем, принимая морское происхождение веществ атмосферных осадков, часто подсчитывали, что за несколько сот лет значительное количество солей поступит в почву. Так, на  $1\ \text{км}^2$  за 800 лет при поступлении  $12\ \text{т/км}^2$  в год получали около 10 000 т растворенных веществ. Установление континентального происхождения большей части растворенных веществ, поступающих с атмосферными осадками, заставляет ввести в подобные расчеты большую поправку.

Показанная большая роль растворенных веществ, приносимых атмосферными осадками, заставляет считать, что систематическое изучение химического состава метеорных вод, особенно в южных районах СССР, представляет неотложную задачу.

Молотовский государственный  
университет  
им. А. М. Горького

Поступило  
22 VI 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 О. А. Алекин, Общая гидрохимия, 1948.
- 2 З. М. Балабанова, Тр. Уральского отд. ВНИОРХ, 4, 75 (1949).
- 3 Л. К. Блинов, Тр. Гос. океан, ин-та, в. 15(27), 67 (1950).
- 4 Е. С. Бурке ер, Н. К. Федорова, Гидрохимические материалы, 16, 107 (1949).
- 5 В. И. Вернадский, История природных вод, 1, в. 1 (1933); в. 2 (1934); в. 3 (1936).
- 6 Г. А. Максимович, ДАН, 29, № 8–9, 595 (1940).
- 7 Г. А. Максимович, ДАН, 58, № 5, 831 (1947).
- 8 Г. А. Максимович, ДАН, 70, № 3, 477 (1950).
- 9 Л. С. Селиванов, Бюлл. вулканич. станции на Камчатке, № 11, 26 (1947).
- 10 Н. Н. Славянов, Учение В. И. Вернадского о природных водах и его значение, 1948, стр. 45–47, 93–108.
- 11 F. W. Clarke, U. S. Geol. Survey, Bull, 770 (1924).

ГЕОЛОГИЯ

Г. А. МАКСИМОВИЧ

**О РОЛИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ПЕРЕНОСЕ  
РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ***(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 13 VII 1953)*

Атмосферные осадки физически изучены сравнительно хорошо. Учтено их количество и фазовый состав. Химическое же изучение дождевых и снежных вод сильно отстает, хотя оно и начато около 150 лет назад<sup>(10)</sup>. До последнего времени в атмосферных осадках определялось, главным образом, только содержание отдельных компонентов — азота в виде нитритов, нитратов и аммиака; серы в виде сульфатного иона; хлора, иода и брома. Остальные элементы определяются сравнительно редко. Обычные химические анализы с определением основных компонентов: Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Na опубликованы в СССР в последнее время<sup>(1, 2, 4)</sup>.

Вопрос о происхождении растворенных компонентов атмосферных осадков и их количестве представляет большой теоретический и практический интерес. На земную поверхность за год на 1 км<sup>2</sup> поступает вместе с осадками до 12 т растворенных веществ. Это дает для всей суши 1800 млн. т или 0,75 км<sup>3</sup>. Подсчет другим способом дает еще большую цифру. На сушу, не считая бессточные области, ежегодно выпадает 108 000 км<sup>3</sup> осадков. При средней минерализации осадков, по В. И. Вернадскому<sup>(5)</sup>, 34 мг/л и удельном весе 2,5 это дает для суши (без бессточных областей) 1,47 км<sup>3</sup> в год. По подсчетам автора, реки выносят в океан 1,2 км<sup>3</sup> растворенных веществ. Получается, что химической денудации на Земле почти нет, так как реки выносят в океан только растворенные вещества, принесенные атмосферными осадками. Между тем, реками выносятся не только растворенные вещества атмосферных осадков, а при подземном питании — и продукты выщелачивания коры выветривания.

В. И. Вернадский считал, что состав метеорной воды — такая же основная константа в геохимии, как и состав океанической воды<sup>(5)</sup>. Каковы же источники минерализации атмосферной капельно-жидкой воды и атмосферных осадков?

Основным источником минерализации облачных вод является океан, занимающий  $\frac{5}{8}$  земной поверхности. Соли поступают в атмосферу за счет истинного и «механического» испарения. Последнее представляет перенос ветром частиц морской воды вместе с их солями на континент и в высокие слои атмосферы. По Л. К. Блинову, этим путем возможен перенос морских солей на расстояние до 1000—4000 км<sup>(3)</sup>. Блинову удалось вблизи моря микроскопически и микрохимически доказать образование из перенесенной ветром морской воды кристаллов галита и гипса.

Второй источник минерализации облачных вод — это газы и возгоны вулканов и фумарол. По подсчетам Л. С. Селиванова, вулканы ежегодно выбрасывают в атмосферу  $n \cdot 10^5$  —  $n \cdot 10^7$  т хлора. Общее же количество его в атмосфере составляет  $n \cdot 10^8$  т<sup>(9)</sup>. Некоторую роль играют газы вулканоидов<sup>(6)</sup>. Атмосферные разряды приводят к образованию окислов

атмосферного азота, количество которых не учтено. Растворение в облачной воде  $\text{CO}_2$  при гидратации и диссоциации дает ионы водорода и  $0,12 \text{ мг/л } \text{HCO}_3^-$  (1).

Все эти источники обуславливают минерализацию облачных вод, концентрация хлора в которых составляет  $3,58 \text{ мг/л}$ , а общая минерализация около  $7 \text{ мг/л}$ . Только для них, при современном уровне наших знаний, остается в силе положение В. И. Вернадского о постоянстве химического состава.

Для атмосферных осадков в результате выполненных в СССР в последние годы химических анализов (1, 2, 4) указанное положение должно быть оставлено. Оказалось, что состав атмосферных осадков зонален. В лесной зоне в них преобладают  $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$ , в степной  $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4$ , в сухих степях и полупустыне  $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4 - \text{Cl} - \text{Na}$ . Вблизи морского побережья (Франция) появляются хлоридно-сульфатно-натриевые осадки. Данными о химическом составе осадков в тундре, тропической зоне и в горах мы не располагаем.

Намечается связь химического состава атмосферных осадков с составом коры выветривания географических зон. Это связано с тем, что с континентов в тропосферу с восходящими воздушными течениями поднимаются пылевые частицы. Атмосферные осадки при падении с высоты  $1 \text{ км}$  каждым своим литром омывают  $326 \text{ м}^3$  воздуха. При этом они очищают воздух от пылевых частиц и обогащаются солями. Пылевые и другие частицы, поднятые в тропосферу с поверхности коры выветривания, представляют, главным образом, почвенные образования. Последние тесно связаны с географическими зонами. Отсюда состав атмосферных осадков, так же как почвенных, грунтовых, речных и озерных вод, характеризуется широтной зональностью (7, 8).

Для морских побережий в осадках не всегда преобладают хлор,  $\text{SO}_4$  и натрий, как это имело место в одном из химических анализов с Атлантического побережья Франции (11), который обычно приводился.

Единичные химические анализы дождевых вод, выпавших вблизи берега Черного и Азовского морей, указывают, что здесь имеют место  $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} - \text{Na}$  (Одесса) и  $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4 - \text{Na}$  (Осипенко) воды. Вблизи городов, как еще указывал В. И. Вернадский (5), сжигание угля и химическая промышленность обуславливают обогащение тропосферы серой и другими элементами.

Химические анализы осадков Европейской части СССР показывают, что минерализация их колеблется от  $25$  до  $206 \text{ мг/л}$ . По происхождению солей минерализация должна быть разделена на две неравные части.

1. Минерализация капельно-жидких вод высоких слоев атмосферы (облачные воды) — главным образом за счет морских солей при известном участии вулканических продуктов и других менее значительных источников (окись азота от атмосферных разрядов,  $\text{HCO}_3^-$  от растворения  $\text{CO}_2$  и др.) — до  $7 \text{ мг/л}$ .

Во время больших вулканических извержений характер минерализации изменяется и растет ее величина.

2. Минерализация атмосферных осадков за счет поднятых в тропосферу с поверхности континентов солей —  $23-200 \text{ мг/л}$ .

Величина минерализации и состав солей изменяются в зависимости от географической зоны. В прибрежной зоне к континентальным солям прибавляются и морские соли, причем количество последних увеличивается до  $200$  и более  $\text{мг/л}$ . Поступающие с атмосферными осадками континентальные соли при испарении частично остаются на земной поверхности и вновь могут быть подняты в воздух. Этим путем происходит внутренний солеоборот в пределах одной географической зоны.

Воздушные течения могут также переносить континентальные соли из одной зоны в другую. Так, в Низовое Поволжье и на Восточную Украину могут приноситься соли с поверхности пустынь Средней Азии, а на север-

ный берег Средиземного моря — из Сахары. В момент межзонального перенесения растворимых веществ с земной поверхности химический состав атмосферных осадков будет отличен от характерного для данной географической зоны. Особенно часто эти явления имеют место в районах, находящихся на границе двух географических зон.

Концентрация атмосферных осадков меняется во времени. После длительного отсутствия осадков, вследствие очищающего действия дождя и снега, она наибольшая. При последующем выпадении осадков концентрация дождевых и снежных вод уменьшается.

Облачные воды высоких слоев атмосферы, минерализованные, главным образом, за счет морских и вулканических солей, приносят (без бессточных областей) при 108 000 км<sup>3</sup> осадков с минерализацией 7 мг/л и удельном весе 2,5 растворенных веществ 0,25 км<sup>3</sup>.

Атмосферные осадки, кроме того, приносят на ту же площадь суши 0,5 км<sup>3</sup> растворенных веществ, поднятых в тропосферу с континентов. Общее количество растворенных веществ, поступающих на сточную часть суши, 0,75 км<sup>3</sup>. Величина 1,45 км<sup>3</sup>, полученная, исходя из средней минерализации атмосферных осадков в 34 мг/л, завышена. В. И. Вернадский<sup>(5)</sup> указывал, что она верна для Западной Европы и Северной Америки. В частности, она верна для Англии, где соли, принесенные с моря, играют большую роль.

Атмосферные осадки приносят на поверхность Земли значительное количество растворенных веществ. Для сточных областей они составляют около 40% веществ, выносимых реками в океан.

Необходимо составить балансы веществ почв и коры выветривания для бассейнов отдельных рек. Подземный сток и химическая денудация представляют расходную часть баланса. В приходную часть, помимо удобрений, входят вещества, принесенные атмосферными осадками. При этом необходимо учитывать, что не все растворенные вещества, принесенные на земную поверхность осадками, засоляют почву. Между тем, принимая морское происхождение веществ атмосферных осадков, часто подсчитывали, что за несколько сот лет значительное количество солей поступит в почву. Так, на 1 км<sup>2</sup> за 800 лет при поступлении 12 т/км<sup>2</sup> в год получали около 10 000 т растворенных веществ. Установление континентального происхождения большей части растворенных веществ, поступающих с атмосферными осадками, заставляет ввести в подобные расчеты большую поправку.

Показанная большая роль растворенных веществ, приносимых атмосферными осадками, заставляет считать, что систематическое изучение химического состава метеорных вод, особенно в южных районах СССР, представляет неотложную задачу.

Молотовский государственный  
университет  
им. А. М. Горького

Поступило  
22 VI 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> О. А. Алевкин, *Общая гидрохимия*, 1948. <sup>2</sup> З. М. Балабанова, *Тр. Уральско-го отд. ВНИОРХ*, 4, 75 (1949). <sup>3</sup> Л. К. Блинов, *Тр. Гос. океан. ин-та*, в. 15 (27), 67 (1950). <sup>4</sup> Е. С. Бурксер, Н. К. Федорова, *Гидрохимические материалы*, 16, 107 (1949). <sup>5</sup> В. И. Вернадский, *История природных вод*, 1, в. 1 (1933); в. 2 (1934); в. 3 (1936). <sup>6</sup> Г. А. Максимович, *ДАН*, 29, № 8—9, 595 (1940). <sup>7</sup> Г. А. Максимович, *ДАН*, 58, № 5, 831 (1947). <sup>8</sup> Г. А. Максимович, *ДАН*, 70, № 3, 477 (1950). <sup>9</sup> Л. С. Селиванов, *Бюлл. вулканич. станции на Камчатке*, № 11, 26 (1947). <sup>10</sup> Н. Н. Славянов, *Учение В. И. Вернадского о природных водах и его значение*, 1948, стр. 45—47, 93—108. <sup>11</sup> F. W. Clarke, *U. S. Geol. Survey, Bull.*, 770 (1924).