

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ В РАЙОНЕ ГОРОДА ВЛАДИВОСТОК

С. Г. Юрченко, Н. Н. Богданова

*Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения РАН, Россия*

*Поступила в редакцию 30 мая 2016 г.*

**Аннотация:** Проведены исследования химического состава дождевых вод г. Владивосток за 2014-2015 годы. Показано, что соотношение континентальных и океанических составляющих в химическом составе осадков изменяется в зависимости от сезона.

**Ключевые слова:** атмосферные осадки, химический состав, дождевые воды.

**Abstract:** The article presents the research data over chemical rainwater composition in Vladivostok in 2014-2015. It is shown that correlation between continental and oceanic components in precipitation composition changes in accordance with the season.

**Key words:** atmospheric precipitation, chemical composition, rain waters.

Заметная роль в процессе формирования окружающей среды принадлежит атмосферным осадкам. Изучение их химического состава является удобным методом мониторинга атмосферных загрязнений, что позволяет оценить источники антропогенного загрязнения локального и трансграничного происхождения, а также метеорологические условия, способствующие формированию химического состава атмосферных осадков.

Атмосферные осадки были собраны авторами в 2014-2015 годах. Пункт отбора проб является строго стационарным (автоматический осадкоборник WADOS). Осадкоборник расположен в 700 м от берега на высоте 30 м над уровнем моря. В 2014 году отбор проводился с июня по декабрь (отобрано 20 проб), а в 2015 году с апреля по декабрь (отобрано 25 проб). Пробы снимались после каждого дождя. Химические анализы проб проводились в лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН, где определялся уровень рН, электропроводность, содержание главных компонентов. Были использованы стандартные методы химического анализа воды, анализ катионов проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре (ААС), анализ анионов – на хроматографе с кондуктометрическим детектором. Количество выпавших осадков, от которого зависят многие химические параметры, были взяты с сайта гр5 [1].

В данном сообщении мы представляем результаты исследования, направленного на выявление факторов, влияющих на химический состав атмосферных осадков прибрежных регионов.

Анализ зависимости минерализации и рН от количества выпавших осадков (мм) проводился с помощью линейного коэффициента корреляции. Несмотря на то, что он низок и не позволяет говорить о сильной зависимости, анализ графиков позволил выявить обратную зависимость этих показателей от количества выпавших осадков.

В точке наблюдения среднее, за 2014-2015 годы, значение рН составило 4,8 с минимальным значением 4,16 при максимальном 6,07. Причем в большинстве случаев значения не выходили за пределы 4,5-5 единиц. Атмосферные осадки в пункте нашего наблюдения обладали более кислой реакцией, чем, например, в городе Санкт-Петербург [2] и городе Воронеж [3].

Анализ графика зависимости гидрокарбонатов от рН (рис. 1) выявил четкую положительную корреляцию. Как можно заметить, при повышении концентрации гидрокарбонатов в осадках кислотность их понижается. При незначительной кислотности (рН < 4,5) дождевые воды не содержат гидрокарбонаты (30 % отобранных проб).

В 2015 году за время наблюдения значения рН постепенно снижались (рис. 2а). Подобная картина хода рН осадков была отмечена в [3], где авторы предположили, как антропогенную, так и

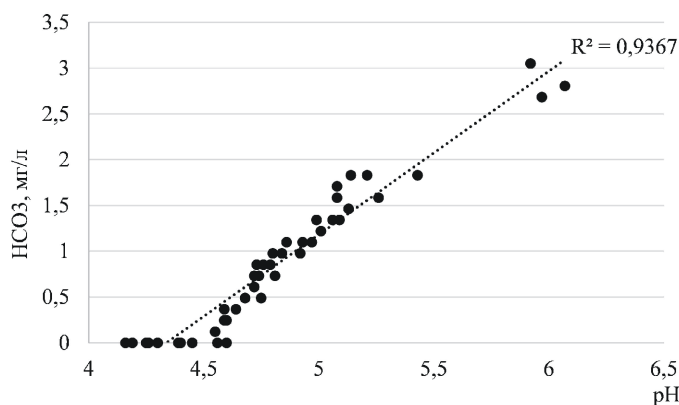


Рис. 1. Изменение гидрокарбонатов под влиянием кислотности осадков

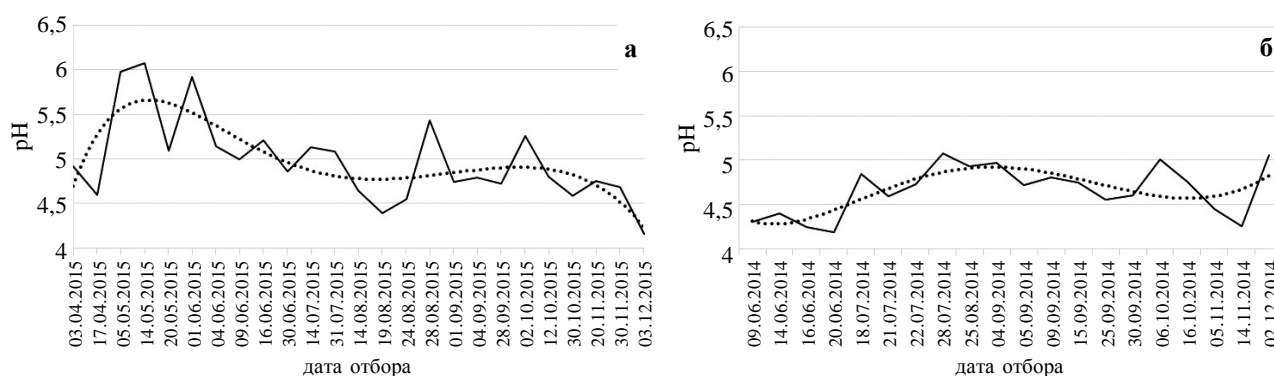


Рис. 2. График хода рН осадков

природную причину подкисления. Возможно, мы бы тоже связали понижение рН с началом отопительного сезона, но в 2014 году наблюдалась несколько иная картина (рис. 2б). Анализ графика хода рН осадков в 2014 году показал небольшое подщелачивание осадков в холодный период. Если проанализировать наиболее частые направления ветров в данный период, то можно предположить, что значения рН осадков повышаются вследствие северных переносов воздушных масс с континента, т.е. возрастание величины рН свидетельствует об увеличении запыленности воздуха в этот период. Причиной же понижения рН осадков в 2015 году может выступать постепенное промывание атмосферы влагой, так как частота выпадения осадков с ноября по декабрь в этом году была выше, по сравнению с 2014 годом.

Дождевые воды имели невысокую минерализацию, составляющую в основном, несколько миллиграмм в литре. Это соответствует данным по дождям Приморья в целом [4], за исключением сильно загрязненных районов [5], где антропогенное влияние, прежде всего, горнорудной и металлургической промышленности заметно меняет химический состав дождевых вод, повышая ми-

нерализацию до 300-800 мг/л. Средняя минерализация атмосферных осадков в пункте наблюдения – 7,9 мг/л с минимальным значением 1,5 мг/л при максимальном 23,5 мг/л.

Уравнение линейного тренда зависимости минерализации от количества осадков за весь период наблюдения свидетельствует о тенденции разбавления проб, которая характеризуется отрицательным коэффициентом при переменной. Также наблюдается линейная зависимость электропроводности от суммы ионов ( $R^2=0,88$ ).

В атмосферных осадках в пункте наблюдения за 2014-2015 годы доминировал сульфатно-хлоридно-натриевый состав. Необходимо отметить, что для дождевых вод Приморья в целом, несмотря на прибрежное положение, характерен смешанный состав, в котором нередко преобладает  $\text{HCO}_3^-$  [4]. Таким образом, доминирование  $\text{Na}^+$  указывает на более заметное присутствие морских солей в атмосферных осадках изучаемой территории. Кроме того, между минерализацией и доминирующими в осадках ионами была отмечена корреляционная связь. Так, содержание хлоридов и сульфатов растет прямо пропорционально увеличению минерализации ( $R^2=0,99$  и  $R^2=0,68$  соответственно).

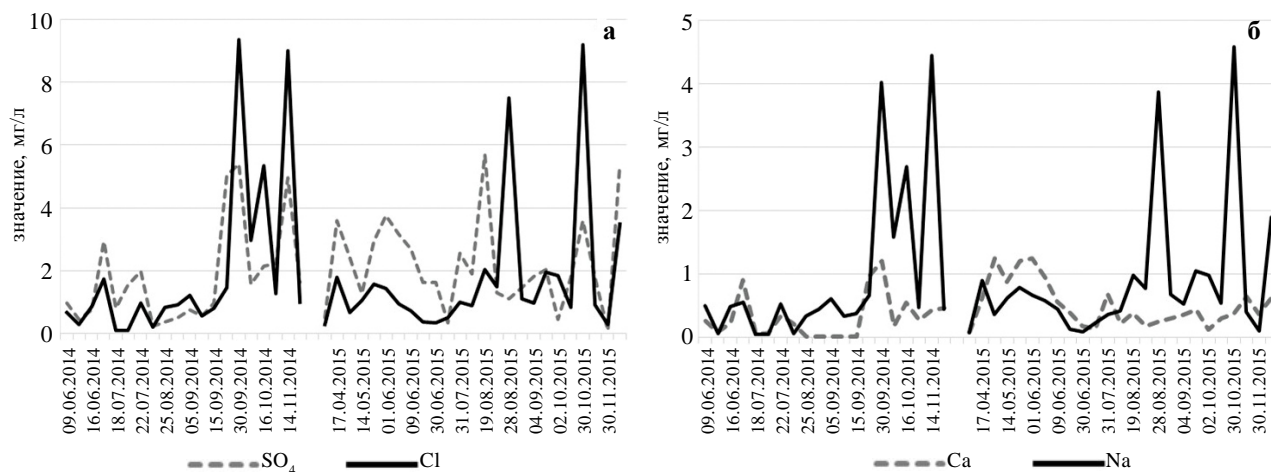


Рис. 3. Временной ход изменения химического состава атмосферных осадков

Высокая связь наблюдалась также между хлоридами и ионами натрия. Коэффициент корреляции между ионами натрия и сульфата составляет 0,54 – связь средней силы.

Если проанализировать данные по атмосферным осадкам с 2000 по 2003 год [4, 6], то необходимо отметить изменение соотношения основных ионов. Так, в более ранних работах отмечалось смещение основных катионов в сторону кальция, тем самым подчеркивая запыленность городской атмосферы. Средняя концентрация кальция в дождевых водах в точке наблюдения в период отбора составляла 0,45 мг/л. Минимальная величина равнялась 0,02 мг/л, а максимальная – 1,25 мг/л. Визуально прослеживалась зависимость содержания кальция от pH: с уменьшением кислотности происходит смещение основных катионов в сторону кальция.

В начале теплого сезона (с мая по июль) наблюдалось превышение концентрации сульфатов над хлоридами (рис. 3а). В это же время отмечалось превышение кальция (в абсолютных соотношениях) над натрием (рис. 3б). Таким образом, можно предположить, что причиной повышения содержания сульфатов в атмосферных осадках в теплый период является обогащение атмосферы аэрозолями континентального происхождения.

Итак, результаты анализа показали, что атмосферные осадки города Владивосток в пункте наблюдения за 2014-2015 годы классифицируются как кислые. Годовые колебания кислотности объясняются, в основном, природными причинами.

По ионному составу с мая по июль дождевые воды характеризуются как сульфатно-хлоридно-кальций-натриевые, что указывает на обогащение

атмосферы аэрозолями континентального происхождения, а в остальные периоды – хлоридно-сульфатно-натриевые, указывающие на более заметное присутствие морских солей в осадках.

Минерализация осадков, которая влияет на формирование химического состава поверхностных и подземных вод изучаемой территории, изменяется обратно пропорционально количеству осадков, выпавших в пункте наблюдения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Погода во Владивостоке // Расписание погоды. – Режим доступа: [http://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_во\\_Владивостоке](http://rp5.ru/Архив_погоды_во_Владивостоке). – Дата обращения: 15.04.2016
2. Свистов П. Ф. Атмосферные осадки: химический состав и кислотность / П. Ф. Свистов, Н. А. Першина, М. Т. Павлова // Природа. – 2015. – № 6. – С. 28-36.
3. Прожорина Т. И. Исследование метеорологических и химических параметров атмосферных осадков в осенне-зимний период как индикатора загрязнения воздуха г. Воронежа / Т. И. Прожорина, Е. Г. Нефедова // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 145-149.
4. Чудаева В. А. Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока / В. А. Чудаева, О. В. Чудаев, С. Г. Юрченко // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35, № 1. – С. 60-71.
5. Качур А. Н. Некоторые особенности химического состава атмосферных осадков в связи с техногенезом / А. Н. Качур // Геохимия зоны гипергенеза и техническая деятельность человека : сборник научных трудов / Дальневосточный научный центр АН СССР. – Владивосток, 1976. – С. 28-47.
6. Юрченко С. Г. Химический состав атмосферных осадков города Владивостока (дождь и снег) / С. Г. Юрченко // Географические и геоэкологические исследо-

вания на Дальнем Востоке : сборник статей / Дальнаука. – Владивосток, 2006. – Вып. 2. – С. 149-159.

#### REFERENCES

1. Pogoda vo Vladivostoke // Raspisanie pogody. – Rezhim dostupa: [http://rp5.ru/Arkhiy\\_pogody\\_vo\\_Vladivostoke](http://rp5.ru/Arkhiy_pogody_vo_Vladivostoke). – Data obrashcheniya: 15.04.2016

2. Svistov P. F. Atmosfernye osadki: khimicheskiy sostav i kislotnost' / P. F. Svistov, N. A. Pershina, M. T. Pavlova // Priroda. – 2015. – № 6. – S. 28-36.

3. Prozhorina T. I. Issledovanie meteorologicheskikh i khimicheskikh parametrov atmosfernykh osadkov v osennezimniy period kak indikatora zagryazneniya vozdukhа g. Voronezha / T. I. Prozhorina, E. G. Nefedova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2013. – № 1. – S. 145-149.

4. Chudaeva V. A. Osobennosti khimicheskogo sostava atmosfernykh osadkov na yuge Dal'nego Vostoka / V. A. Chudaeva, O. V. Chudaev, S. G. Yurchenko // Vodnye resursy. – 2008. – T. 35, № 1. – S. 60-71.

5. Kachur A. N. Nekotorye osobennosti khimicheskogo sostava atmosfernykh osadkov v svyazi s tekhnogenezom / A. N. Kachur // Geokhimiya zony gipergeneza i tekhnicheskaya deyatel'nost' cheloveka : sbornik nauchnykh trudov / Dal'nevostochnyy nauchnyy tsentr AN SSSR. – Vladivostok, 1976. – S. 28-47.

6. Yurchenko S. G. Khimicheskiy sostav atmosfernykh osadkov goroda Vladivostoka (dozhd' i sneg) / S. G. Yurchenko // Geograficheskie i geoekologicheskie issledovaniya na Dal'nem Vostoke : sbornik statey / Dal'nauka. – Vladivostok, 2006. – Vyp. 2. – S. 149-159.

Юрченко Светлана Григорьевна  
кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории геохимии Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Владивосток, т. 8-908-966-79-91, E-mail: [yurchenko@tig.dvo.ru](mailto:yurchenko@tig.dvo.ru)

Yurchenko Svetlana Grigor'yevna  
Candidate of Geographical Sciences, Researcher of the Laboratory of Geochemistry of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, tel. 8-908-966-79-91, E-mail: [yurchenko@tig.dvo.ru](mailto:yurchenko@tig.dvo.ru)

Богданова Наталья Николаевна  
ведущий инженер лаборатории геохимии Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Владивосток, т. (423)2-32-06-52

Bogdanova Natal'ya Nikolayevna  
Leading Engineer of the Laboratory of Geochemistry of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, tel. (423) 2-32-06-52