

УДК 504.3.054

Сухое осаждение ряда водорастворимых неорганических компонентов на станции Иркутск в 2020 г.

У.Г. Назарова✉*

Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Поступила в редакцию 14.02.2022 г.;
после доработки 30.03.2022 г.;
принята к печати 11.04.2022 г.

Проанализирован химический состав сухого осаждения в промышленном центре Восточной Сибири г. Иркутске (Россия) в 2020 г. В теплое время года в составе сухих выпадений были повышены PO_4^{3-} , особенно в штилевую погоду. В осенний период средние концентрации NH_4^+ по сравнению с августом возросли в три раза, водорастворимого Si^{2+} – в два раза, а концентрации PO_4^{3-} снизились в три раза.

Ключевые слова: атмосферный аэрозоль, атмосферные осадки, сухое осаждение, химический состав; atmospheric aerosol, atmospheric precipitation, dry deposition, chemical composition.

Введение

Исследование процессов формирования химического состава и распространения примесей в атмосфере Байкальского региона, оказывающих влияние на химический состав атмосферных выпадений и впоследствии на качество вод Байкала, имеет важное практическое значение.

Иркутск, шестой по величине город Сибири, располагается в границах первой и второй зоны атмосферного влияния Байкальской природной территории на расстоянии 70 км к северо-западу от оз. Байкал. Выбросы источников из этой зоны попадают в экосистемы главным образом в результате влажного и сухого осаждения. Сухое осаждение включает газы и частицы. Основными и наиболее опасными газами являются оксиды азота (NO_x) и диоксид серы (SO_2) – предшественники кислот, образующие аэрозоль, частицы которого содержат анионы: нитрат (NO_3^-) и сульфат (SO_4^{2-}) [1].

Для измерения сухого осаждения существует широкий спектр методов. Можно выделить два основных метода: прямой и косвенный [2]. Прямые измерения сухих осадений чрезвычайно сложны и поэтому крайне немногочисленны [3]. Кроме того, они могут считаться приемлемыми только для тех условий и для того периода времени, при которых они проводились, с учетом метеорологических параметров, а именно температуры, относительной влажности, скорости и направления ветра. Изме-

рения сухих осадений были проведены на нескольких станциях в прибрежных районах Байкала в начале 1980-х гг. [4].

Цель настоящей работы – изучения химического состава проб сухого осаждения, отобранных в Иркутске в 2020 г.

Материалы и методы

В настоящей работе использовался прямой метод для измерения сухого осаждения (концентрация осаденного материала, умноженная на скорость осаждения в единицу времени). В теплое время года, с апреля по октябрь, на площадке для отбора проб атмосферных осадков устанавливали измерительную ячейку, во избежание выдувания эоловой взвеси заполненную дистиллированной водой объемом 1 л. В холодное время года, с ноября по март, при отрицательных температурах воздуха кювета не заполнялась, а споласкивалась дистиллированной водой в лабораторных условиях. Отбор проб осуществлялся в течение 24 ч. Собранные образцы были протестированы на показатель pH. Образцы фильтровали через фильтр из ацетата целлюлозы с порами размером 0,2 мкм. В образцах определялся ионный состав (K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^{2-} , Br^- и SO_4^{2-}) на хроматографе ICS-3000 (Dionex, США), а также состав соединений биогенных элементов (NO_2^- , PO_4^{3-}) и Si фотометрическим методом, основанным на взаимодействии мономерно-димерной формы кремниевой кислоты и силикатов с молибдатом аммония в кислой среде с образованием молибдокремниевой

* Ульяна Геннадьевна Назарова (ulyana@lin.irk.ru).

гетерополикислоты желтого цвета [5]. Чтобы выявить влияние метеорологических факторов на изменение химического состава сухого осадения, была использована модель HYSPLIT [6]. Для каждого дня отбора проб скачаны данные из архива погоды по температуре, влажности, скорости и направлению ветра [7].

Результаты

В июле 2020 г. на ст. Иркутск возобновлены прямые измерения сухих осадений. Одним из критериев экологической обстановки является оценка поступлений серы и азота на подстилающую поверхность. Потоки серы и азота, поступающие из атмосферы, пересчитывались для азота из нитратов и ионов аммония, для серы — из сульфатов по формуле [8]:

$$D = CV\Delta t,$$

где D — поступление веществ, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; C — средняя концентрация за период Δt ; V — скорость сухих осадений. Скорости сухих осадений применяли с учетом типа поверхности и определенных климатических условий.

Прямое осадение серы и азота на подстилающую поверхность в июле—декабре 2020 г. указывает на увеличение потоков азота от $1,2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ летом до $6,3 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ зимой и снижение потоков серы от $8,4 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ летом до $6,5 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ зимой. Анализ химического состава сухих выпадений за 2020 г. в Иркутске показал, что во всех проанализированных пробах преобладали ионы SO_4^{2-} , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Cl^- , Si и Na^+ .

В теплый период года наблюдалась большая повторяемость штилей и ветров восточных и южных направлений. Со снижением температуры воздуха возросла повторяемость ветров западного и северо-западного направлений, а также средняя скорость ветра. Отмечалось, что в теплое время года в составе сухих осадений повышалось содержание фосфатов. Как видно из рис. 1 и 2 (цв. вкладка), 4–5 августа при скорости ветра меньше 1 м/с концентрация фосфатов увеличилась до $0,7 \text{ мкг/л}$. Также в периоды снижения скоростей ветра и при длительных штилевых условиях в составе сухих осадений возрастали концентрации NH_4^+ . Это можно связать с влиянием местного фона, а именно окружающей площадку отбора проб в теплый сезон травянистой растительности. Предполагается, что в условиях летних штилей в процессе денитрификации растительность выделяет также и соединения фосфора, которые накапливаются в атмосфере. При скорости ветра $2,3 \text{ м/с}$ 26–27 августа 2020 г. выросла концентрация кремния ($0,7 \text{ мкг/л}$), который содержится в эоловом литогенном веществе. Как правило, это происходит, когда на состав выпадений влияют воздушные массы, сформировавшиеся над территорией Казахстана, Бурятии и Монголии. Для атмосферных выпадений в этих случаях характерно преоблада-

ние терригенных элементов в сухих осадениях [9]. Повышенные концентрации кремния определены также в сухом веществе, осаждающемся осенью. В этот сезон отмирает наземная растительность, и при скорости ветра $2,1 \text{ м/с}$ (15–16 октября 2020 г.) пылевые частицы, накопленные на засохшей растительности, снова поднимаются в воздух и влияют на состав сухих осадений. В октябре средние концентрации NH_4^+ ($0,6 \text{ мкг/л}$) по сравнению с августом ($0,2 \text{ мкг/л}$) возросли в три раза, водорастворимого Si^{2+} — в два раза, концентрация PO_4^{3-} снизилась в три раза.

В дальнейшем планируется более детальное рассмотрение не только временной, но и пространственной динамики состава сухих осадений.

Заключение

Проанализирован химический состав сухого осаденного материала ряда водорастворимых неорганических компонентов. В сезонной динамике более высокие концентрации ионов регистрируются в теплый период при низких скоростях ветра. Повышение скорости ветра способствует росту концентрации кремния. Со снижением температуры воздуха возросла повторяемость ветров западного и северо-западного направлений, а также средняя скорость ветра. Увеличилась концентрация ионов NH_4^+ , PO_4^{3-} . В течение всего года преобладают ионы SO_4^{2-} , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Na^+ , Si .

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания ЛИН СО РАН (№ 0279-2021-0014).

Список литературы

1. Hanson P.J., Lindberg S.E. Dry deposition of reactive nitrogen compounds: a review of leaf canopy and non-foliar measurements // Atmos. Environ. 1991. V. 25A, N 8. P. 1615–1634.
2. Businger J.A. Evaluation of the accuracy with which dry deposition can be measured with current micrometeorological techniques // J. Appl. Meteorol. 1986. V. 25. P. 1100–1124.
3. Kumar R., Maharaj Kumari K. Experimental and parameterization method for evaluation of dry deposition of s compounds to natural surfaces // Atmos. Climate Sci. 2012. V. 2. P. 492–500. DOI: 10.4236/acs.2012.24043.
4. Оболкин В.А., Ходжер Т.В. Годовое поступление из атмосферы сульфатов и минерального азота в регионе оз. Байкал // Метеорол. и гидрол. 1990. № 7. С. 71–76.
5. Руководящий документ: РД 52.24.433-2018 Массовая концентрация кремния в водах. Методика измерений фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислоты. Взамен РД 52.24.433-2005; введ. с 16.10.2018. Ростов-на-Дону: [Б.и.], 2018. 20 с.
6. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., Ngan F., NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system // Bull. Am. Meteorol. Soc. 2015. V. 96. P. 2059–2077. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00110.1.
7. URL: <https://meteoinfo.ru/archive-pogoda> (дата обращения 30.11.2020).

8. *Валикова В.И., Матвеев А.А., Чебаненко Б.Б.* Поступление некоторых веществ с атмосферными осадками в регионе озера Байкал / Совершенствование регионального мониторинга состояния оз. Байкал. Л.: Гидрометеоздат, 1985.

9. *Molozhnikova Y.V., Netsvetaeva O.G., Shikhovtsev M.Yu.* Determination of the main factors affecting the chemical composition of precipitation in the Southern Baikal region // Proc. SPIE. 2021. N 1191615. P. 1–6. DOI: 10.1117/12.2600443.

U.G. Nazarova. **Dry deposition of water-soluble inorganic components at Irkutsk station in 2020.**

The chemical composition of dry deposition in the industrial center of Eastern Siberia, Irkutsk (Russia) in 2020 is analyzed. In the warm season, the content of PO_4^{3-} in the dry deposition was increased, especially in calm weather. In autumn, the average concentration of NH_4^+ was three time higher as compared to August; Si^{2+} , two time higher, and PO_4^3 , three time lower.

