

УДК 551.577.13+ 504.3.054

## ПОТОКИ ПОСТУПЛЕНИЯ СЕРЫ И АЗОТА ИЗ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ДВУХ СТАНЦИЙ ЕАНЕТ В РФ ЗА 2019–2021 гг.

Е. С. Жигачева<sup>1)</sup>, С. А. Громов<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup>ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», ул. Глебовская, д. 20Б, 107258, г. Москва, Россия, [kosjatko@gmail.com](mailto:kosjatko@gmail.com)

<sup>2)</sup>ФГБУН «Институт географии Российской академии наук», пер. Старомонетный, 29, 119017, г. Москва, Россия, [gromov@igras.ru](mailto:gromov@igras.ru)

Рассчитаны суммарные (общие) потоки атмосферных выпадений для двух станций ЕАНЕТ на территории России: Листвянка и Приморская. Суммарные выпадения принимались как сумма потоков влажных и сухих выпадений. Представлены месячные потоки выпадений серы и азота за 2019–2021 гг. Также произведена оценка вкладов сухих и влажных выпадений в суммарные потоки выпадений.

**Ключевые слова:** влажные выпадения; сухие выпадения; суммарные атмосферные выпадения; осадки; загрязнение атмосферы.

## SULFUR AND NITROGEN DEPOSITION FLUXES ESTIMATED FOR TWO EANET SITES IN RUSSIA FOR 2019–2021.

E. S. Zhigacheva<sup>1)</sup>, S. A. Gromov<sup>1), 2)</sup>

<sup>1)</sup>*Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Glebovskaya Str., 20B, 107258, Moscow, Russia, [kosjatko@gmail.com](mailto:kosjatko@gmail.com)*

<sup>2)</sup>*Institute of Geography RAS, Staromonetnyy lane, 29, 119017, Moscow, Russia, [gromov@igras.ru](mailto:gromov@igras.ru)*

The total atmospheric deposition fluxes were calculated for two EANET stations in Russia: Listvyanka and Primorskaya. Total deposition was considered as the sum of wet and dry deposition fluxes. Monthly fluxes of sulfur and nitrogen deposition for 2019–2021 are presented. The contributions of dry and wet deposition fluxes to the total deposition fluxes were also assessed.

**Keywords:** wet deposition; dry deposition; total atmospheric deposition; precipitation; air pollution.

Расчет суммарных или «общих» атмосферных выпадений (TAD – Total Atmospheric Deposition) в настоящее время является одной из основных задач в области обработки данных регионального и глобального мониторинга загрязнения атмосферы, решаемых в рамках Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО. Без этих сведений оценка воздействия атмосферных выпадений на естественные экосистемы не является полной.

На данном этапе наиболее удобной для применения технологией оценки ТАО являются расчеты его составляющих по данным станций сетей мониторинга, предоставляющих наиболее точную и проверенную информацию о содержании загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и осадках. Эти результаты в дальнейшем можно экстраполировать на близлежащие территории со сходными условиями.

В соответствии с данным подходом, суммарные потоки можно определить как сумму двух составляющих: потоков влажных выпадений и потоков сухих выпадений. Влажные выпадения представляют собой вещества, достигающие поверхности земли с атмосферными осадками: дождь, снег, иней, туман, роса и пр. Сухие выпадения (СВ) из атмосферы представляют собой свободное осаждение на подстилающую поверхность перемещающихся вместе с воздухом малых атмосферных примесей: газов и твердых частиц. Применяется два основных подхода для определения сухих выпадений: эмпирические (экспериментальные) и расчётные [1]. Часто при организации научных проектов по оценке потоков СВ используют комбинирование с расчетами, используя относительно сложные модели, реализующие теоретические разработки в области атмосферной диффузии газовых примесей в приземном слое атмосферы [2, 3].

Согласно методике, представленной в Техническом руководстве по оценке потоков сухих выпадений в Восточной Азии [4] сети ЕАНЕТ, поток СВ рассчитывается с использованием концентраций загрязняющих веществ в воздухе (в пробах, отобранных методом фильтр-паков за разные периоды накопления веществ на фильтрах) и сопутствующих отбору метеорологических условий.

Были проведены расчеты потоков сухих выпадений для двух станций ЕАНЕТ: Приморская (Приморский край) и Листвянка (Байкальская природная территория) за 2019–2021 гг.

Внутригодовой ход потоков обоих типов выпадений для Приморской (рисунок 1) показывает, что минимальное количество влажных выпадений наблюдается в зимний период. В некоторые зимние месяцы осадки почти полностью отсутствуют. Для сухих выпадений характерно небольшое увеличение величины потоков в теплый период, но в целом их значения варьируют меньше.

Влажные потоки выпадений значительно превышают потоки сухих выпадений как для серы, так и для азота. Хотя в зависимости от года, сухие выпадения азота могут составить существенные процент от общих выпадений, как это было в 2019 г.

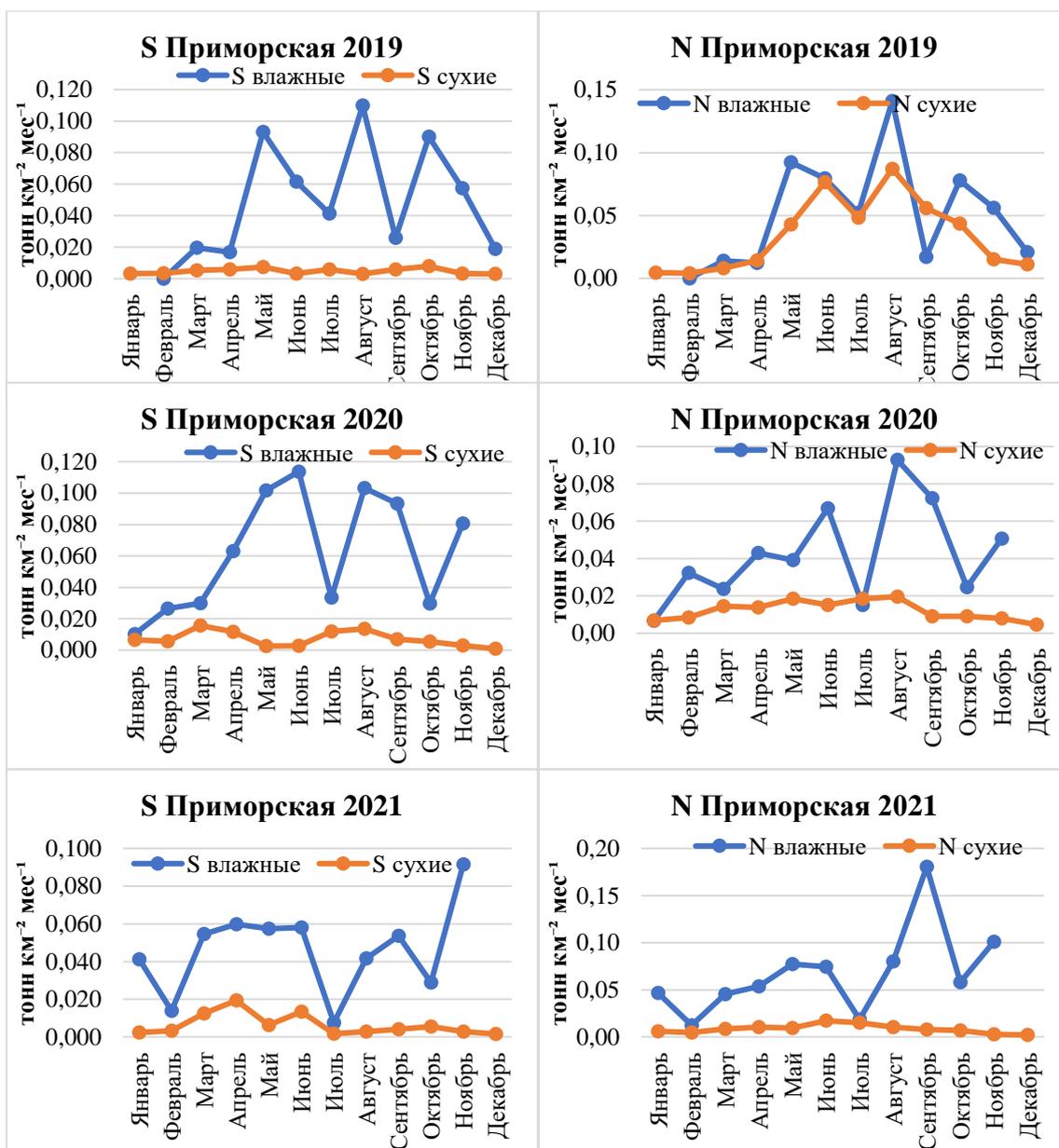


Рис. 1. Внутригодовой ход потоков выпадений серы и азота ( $\text{тонн км}^{-2} \text{мес}^{-1}$ ) на станции Приморская в 2019–2021 гг.

Внутригодовой ход потоков выпадений для Листвянки (рис. 2) показывает преобладание, в большинстве случаев, сухих потоков выпадений над влажными. При этом они в большей мере коррелируют между собой, чем это было для Приморской. Для потоков влажных выпадений на Листвянке также характерно увеличение величины в теплый период. Графики потоков сухих выпадений также часто имеют пики в летние месяцы.

Как показано на рисунке 3 (слева), в выпадениях серы на Листвянке преобладает доля сухих потоков выпадений. На Приморской преобладают

влажные выпадения как серы, так и азота (рис.3, справа). Поток азота на Листвянке более сбалансированы и могут отклоняться как в одну, так и в другую стороны.

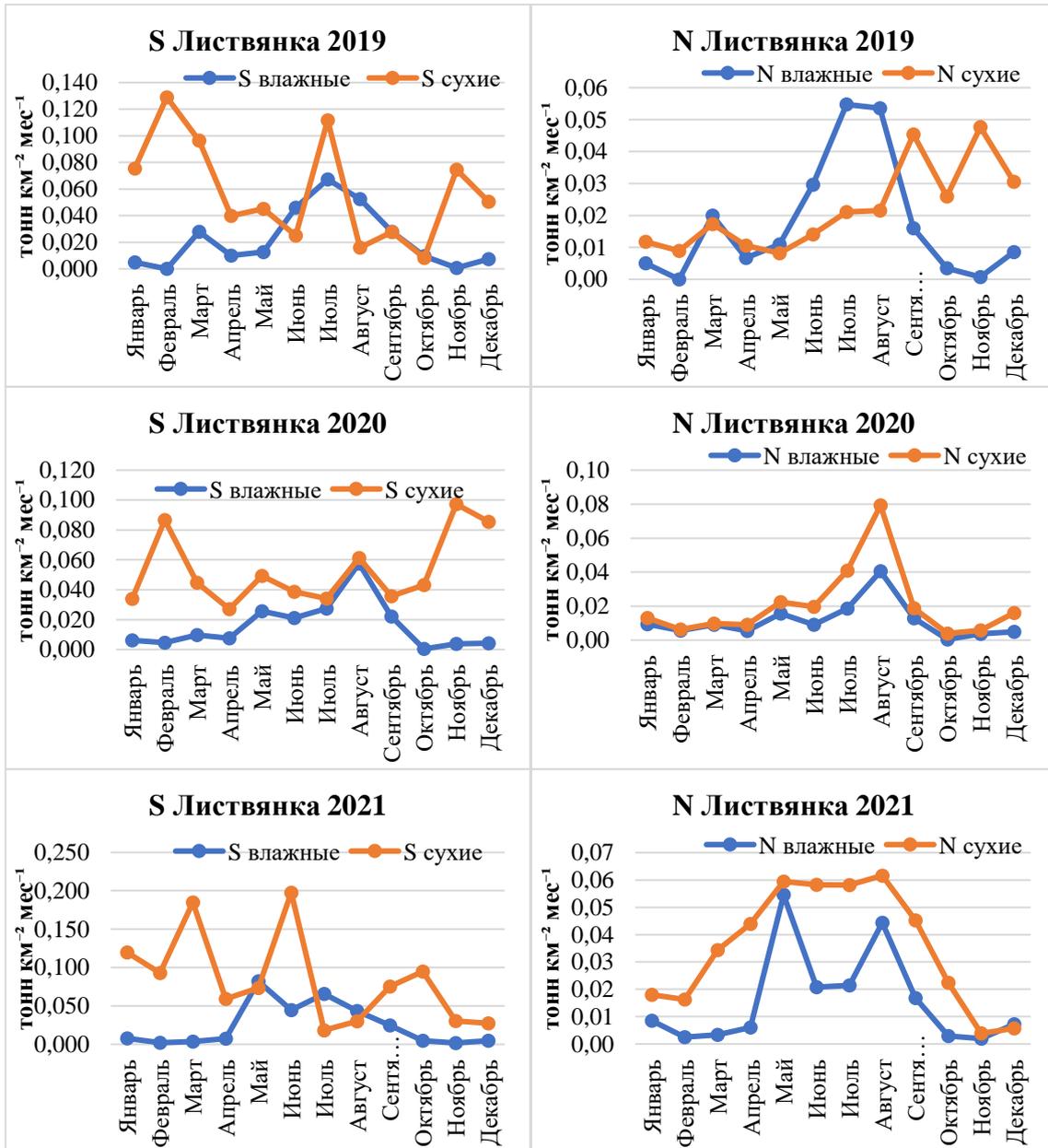


Рис. 2. Внутригодовой ход потоков выпадений серы и азота (тонн км<sup>-2</sup> мес<sup>-1</sup>) на станции Листвянка в 2019–2021 гг.

Для дальнейшего уточнения процентного вклада потоков сухих и влажных выпадений в общие потоки выпадений требуется расширение рядов данных. Также это позволит определить наличие межгодовой динамики вкладов.

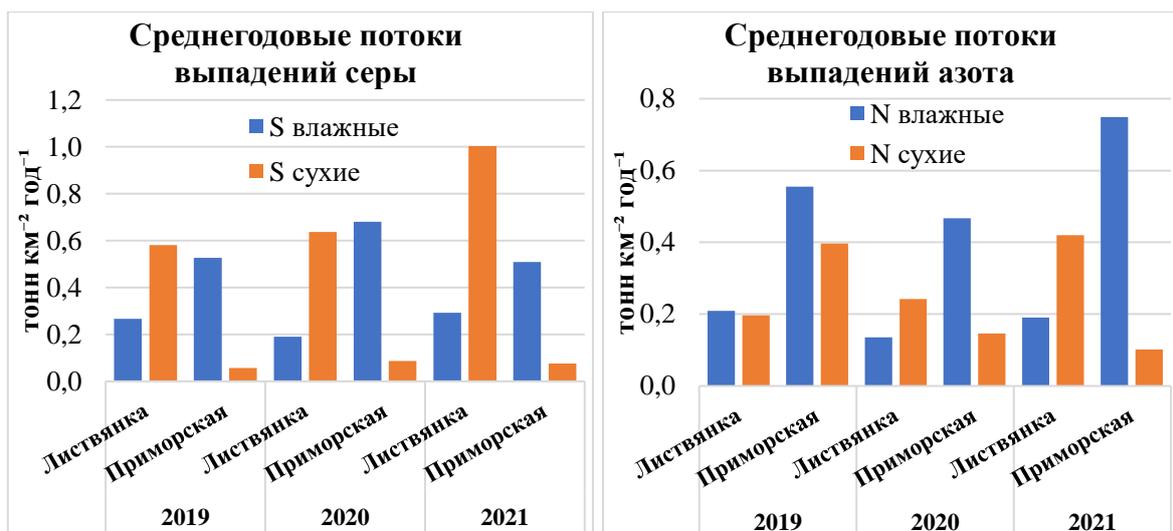


Рис. 3. Годовые потоки выпадений серы (слева) и азота (справа) на Листвянке и Приморской в 2019–2021 гг.

Исследование выполнено в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120013190049-4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)». Оценка данных, сбор информации для расчетов и ее обработка сделаны в работах по государственному заданию Института географии РАН FMWS-2024-0009 №1023032700199-9.

### Библиографические ссылки

1. Wesely M. L., Hicks B. B. A review of the current status of knowledge on dry deposition. *Atmospheric Environment*. 2000. Vol. 34. № 12–14. P. 2261–2282.
2. Chanonmuang P., Khummongkol P., Matsuda K. (2015). «Dry Deposition of SO<sub>2</sub> Over Dry Dipterocarp Forest, Thailand.» *Sains Malaysiana*, v. 44: 317–323. (10.17576/jsm-2015-4403-02)
3. Matsuda K., Watanabe I., Mizukami K., Ban S., Takahashi A (2015). "Dry deposition of PM<sub>2.5</sub> sulfate above a hilly forest using relaxed eddy accumulation." *Atmospheric Environment*, v. 107. (10.1016/j.atmosenv.2015.02.050)
4. EANET. Technical Manual on Dry Deposition Flux Estimation in East Asia // Network Center for EANET, 2010. 45 p.