

## Содержание аммиака в нижней тропосфере на Байкальской природной территории по данным спутниковых и наземных измерений

А. М. Трифонова-Яковлева<sup>1,2</sup>, С. А. Громов<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> *Институт географии РАН, Москва, 119017, Россия*

<sup>2</sup> *Институт глобального климата и экологии им. Ю. А. Израэля  
Москва, 107258, Россия*

*E-mail: yakovleva.eanet@gmail.com*

Аммиак ( $\text{NH}_3$ ) в атмосфере вносит значительный вклад в выпадение кислотных осадков, формирование частиц  $\text{PM}_{2,5}$ , а также оказывает негативное влияние на экосистемы при сухом осаждении. Мониторинг содержания аммиака проводится различными наземными международными сетями отслеживания загрязнения воздуха, в том числе сетью мониторинга кислотных выпадений в Азии (EANET). Спутниковый мониторинг позволяет получить представление о пространственном распределении  $\text{NH}_3$ . В статье проведено сравнение данных дистанционного зондирования и наземных измерений в атмосфере на станциях мониторинга, расположенных в Байкальском регионе. Показано хорошее совпадение результатов для всех сезонов, за исключением зимы. Построены поля значений средней концентрации для весны, лета и осени 2015–2017 гг. Весной среднее содержание аммиака достаточно однородно, разброс концентрации в регионе небольшой. Летом и осенью наблюдаются выраженные области, где средняя концентрация значительно превышает фоновые значения в этом регионе. На рассматриваемой территории это в основном области, непосредственно прилегающие к Байкалу, а также расположенные в Эвенкийском районе Красноярского края. Показано, что на эти же области приходятся основные лесные пожары, происходившие в 2015–2017 гг.

**Ключевые слова:** аммиак, дистанционное зондирование, региональное загрязнение, EANET, атмосфера

Одобрена к печати: 21.02.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-265-274

### Введение

Аммиак ( $\text{NH}_3$ ) в атмосфере является важным компонентом глобального цикла азота на планете. Сухое осаждение аммиака наряду с кислотными осадками негативно влияет на состояние экосистем (Sheppard et al., 2011). Газ  $\text{NH}_3$  участвует в образовании мелкодисперсных взвешенных частиц  $\text{PM}_{2,5}$  (Malm et al., 2004), опасных для здоровья человека (Health..., 2013).

Основными источниками аммиака в атмосфере являются животноводство, удобрения, вносимые под сельскохозяйственные культуры, а также горение биомассы, в том числе лесные пожары и травяные палы.

Отслеживание содержания аммиака в атмосфере осуществляется большинством международных наземных сетей мониторинга загрязнения атмосферы, в том числе Всемирной метеорологической организацией (World Meteorological Organization — WMO), Международной совместной программой мониторинга и оценки дальних переносов атмосферных загрязняющих веществ в Европе (Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe — EMEP), Сетью мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia — EANET).

В данной работе использованы результаты наземных измерений на станциях мониторинга сети EANET (Third..., 2016). В рамках работы сети Россия осуществляет непрерывный регулярный мониторинг загрязняющих веществ в атмосфере, в том числе аммиака, с 2000 г. Три станции мониторинга расположены в Байкальском регионе, одна станция находится в Приморье.

Измерения осуществляются с помощью фильтров методом фильтр-пак (Filter pack) с периодом экспозиции около двух недель (Руководство ЕМЕП (совместная Программа мониторинга и оценки дальнего атмосферного переноса загрязняющих веществ в Европе) по отбору проб и химическому анализу 2001 г., [https://projects.nilu.no/ccs/manual/download/EMEP\\_manual\\_russian.pdf](https://projects.nilu.no/ccs/manual/download/EMEP_manual_russian.pdf)). Таким образом, временной ряд содержания аммиака у поверхности состоит из значений, представляющих собой физически осреднённое двухнедельное содержание  $\text{NH}_3$  в воздухе около станции.

Однако наземные измерения носят точечный характер. Вследствие большой изменчивости  $\text{NH}_3$  в пространстве и времени необходимо использовать спутниковые данные для получения более полной пространственной картины.

### Содержание аммиака в атмосфере по данным дистанционного зондирования

Оценка содержания  $\text{NH}_3$  в атмосфере проводится по данным различных спутниковых приборов: TES (Tropospheric Emission Spectrometer) на борту американского спутника AURA (Beer et al., 2008), AIRS (Atmospheric Infrared Sounder), установленного на космическом аппарате NASA Aqua (Warner et al., 2016, 2017), и др. В настоящей работе использован спутниковый продукт содержания аммиака в столбе атмосферы (Van Damme et al., 2017), полученный по данным прибора IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer), установленного на спутнике MetOp-A европейского агентства EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) (Clarisse et al., 2009). Спутник имеет солнечно-синхронную орбиту и пересекает экватор примерно в 09:30 и 21:30 по местному солнечному времени. В работе использованы результаты, восстановленные только по данным утренних измерений, когда прибор гораздо более чувствителен к  $\text{NH}_3$  по сравнению с вечерними данными (Van Damme et al., 2015). Пространственное разрешение прибора IASI составляет около 12 км (круг диаметром 12 км в надире).

Общее содержание аммиака в столбе атмосферы оценивается исходя из индекса гиперспектрального диапазона (Hyperspectral Range Index — HRI), а также сильно зависит от разности температуры поверхности и пограничного слоя атмосферы (температурного контраста) (Whitburn et al., 2016). Большое значение имеет также предполагаемый вертикальный профиль аммиака. На основе данных моделирования, включающих метеорологические параметры, априорный вертикальный профиль  $\text{NH}_3$ , индекс HRI как входные параметры, обучается нейронная сеть, с помощью которой восстанавливается общее содержание аммиака в столбе атмосферы (Van Damme et al., 2017). В результате восстановления при невысоком уровне загрязнения может получаться отрицательное значение содержания аммиака в столбе атмосферы, что связано с вычислительными особенностями.

При вычислениях используются два типа априорных вертикальных профилей: профиль, согласно которому концентрация аммиака убывает экспоненциально, причём максимум находится у поверхности (профиль «земля»), а также профиль, согласно которому максимальная концентрация достигается на некоторой высоте над поверхностью (профиль «море»). Формула (1) описывает зависимость содержания аммиака (в частицах аммиака на миллиард частиц воздуха, ppb) от высоты .

$$\rho(z) = \rho_{\max} e^{-c((z-z_0)/\sigma)^2}, \quad (1)$$

где  $z_0$  — высота максимума концентрации над поверхностью земли;  $\sigma$  — мера толщины слоя, содержащего  $\text{NH}_3$  (в километрах). Для профиля «земля»  $z_0 = 0$  км,  $\sigma = 1,07$  км; для профиля «море»  $z_0 = 1,4$  км,  $\sigma = 1,28$  км.

Для сравнения содержания аммиака по наземным и спутниковым данным использовались значения спутниковых измерений, центр которых попадает в квадрат  $1 \times 1^\circ$ , в центре которого находится станция наземного мониторинга. Общее содержание аммиака, данное

в единицах Добсона (содержание молекул вещества в столбе атмосферы над квадратным сантиметром земной поверхности), было пересчитано к приземной концентрации с использованием априорных профилей следующим образом. Содержание аммиака  $\rho(z)$  запишем в виде:

$$\rho(z) = \frac{d_{\text{NH}_3}(z)}{d_{\text{air}}(z)} \times 10^9, \quad (2)$$

где  $d_{\text{NH}_3}(z)$ ,  $d_{\text{air}}(z)$  — число молекул в единице объёма на высоте  $z$  соответственно аммиака и воздуха. Общее содержание аммиака ( $A$ ) в столбе атмосферы может быть вычислено как:

$$A = \int_0^{+\infty} d_{\text{NH}_3}(z) dz. \quad (3)$$

Подставим в формулу (3)  $d_{\text{NH}_3}$  и априорный профиль концентрации, полученные из выражений (2) и (1), а затем выразим максимальную концентрацию  $\rho_{\text{max}}$ . Находим, что в единицах ppb она может быть вычислена по формуле:

$$\rho_{\text{max}} = \frac{A \times 10^9}{\int_0^{+\infty} e^{-((z-z_0)/\sigma)^2} d_{\text{air}}(z) dz}. \quad (4)$$

Зная максимальную концентрацию, легко вычислить приземную по формуле (1), учитывая, что  $z = 0$  км.

Пересчёт общего содержания к приземной концентрации может вносить дополнительную ошибку, однако даёт возможность сравнить результаты обоих типов измерений и понять ограничения на использование данных дистанционного зондирования.

### Сравнение восстановленных и приземных значений

Сравнение было проведено для станций фонового мониторинга EANET, расположенных в Байкальском регионе, а именно для станций Монды ( $51^\circ 37' 18''$  с. ш.,  $100^\circ 55' 10''$  в. д.) и Листвянка ( $51^\circ 50' 47''$  с. ш.,  $104^\circ 53' 34''$  в. д.) (рис. 1).

Следует учитывать, что в зимние месяцы в исследуемом регионе температурный контраст небольшой и это влияет на чувствительность прибора. Также в случае очень низкой концентрации аммиака в атмосфере восстановленные значения оказываются завышенными, но всё же соответствующими уровню малого загрязнения (Van Damme et al., 2014).

При сравнении, а также в дальнейшем при оценке средней концентрации использовались восстановленные по спутниковым данным разовые значения, погрешность которых не превышает 100 %. Погрешность приземных измерений на станции мониторинга составляет 1 ppb.

Станция Листвянка расположена у края пос. Листвянка, близко к берегу оз. Байкал. Значения аммиака, согласно наблюдениям на станции мониторинга, показывают выраженные сезонные изменения. Максимум концентрации приходится на июнь и июль. При осреднении восстановленных измерений в квадрат вокруг станции размером  $1 \times 1^\circ$  попадают как измерения над поверхностью земли (в спутниковом продукте априорный профиль «земля»), так и над Байкалом (профиль «море»).



Рис. 1. Станции мониторинга Листвянка и Монды сети EANET

Средние значения и разброс оказываются больше, чем для наземных данных. Если же при осреднении использовать только измерения над водной поверхностью, соответствие становится лучше (рис. 2а). Как будет видно далее, содержание аммиака вокруг станции Листвянка находится на уровне фонового загрязнения в рассматриваемом регионе.

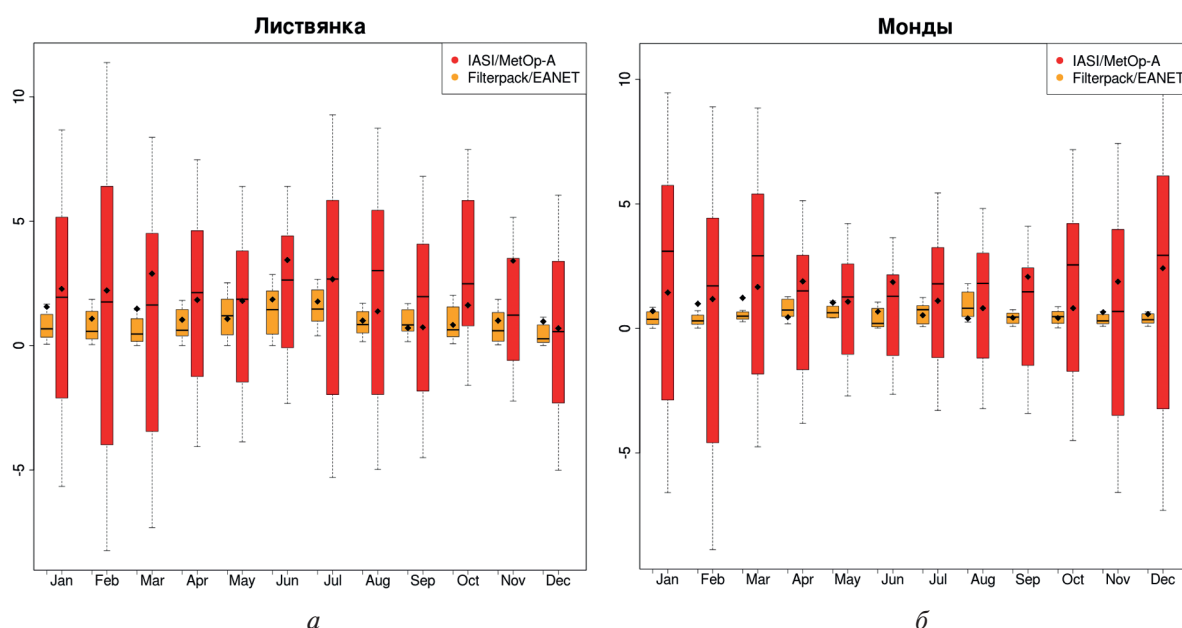


Рис. 2. Результаты сравнения восстановленной по спутниковым измерениям IASI/MetOp-A (красные столбики) и приземной Filterpack/EANET (рыжие столбики) концентрации аммиака (в ppb) в районе станций Листвянка (а) и Монды (б) на диаграмме box-and-whisker. Для измерений каждого месяца высота цветного столба соответствует разбросу значений от первой до третьей квантили; горизонтальные линии — медиана; точки — среднее значение; чёрные пунктирные линии обозначают разброс значений, не выходящих далее чем на половину межквантильного расстояния; статистические выбросы на диаграмме не представлены

Станция Монды расположена в удалённом районе и является станцией фонового мониторинга. Вблизи неё отсутствуют промышленные и крупные сельскохозяйственные предприятия. Согласно данным наземных наблюдений, содержание аммиака в воздухе в целом очень низкое, средняя концентрация составляет 0,7 ppb. Сезонный ход выражен, максимум концентрации достигается в летние месяцы (рис. 2б). Восстановленная по спутниковым значениям концентрация является несколько завышенной, особенно в холодные месяцы, что соответствует указанным выше ограничениям. В целом по данным и наземных наблюдений, и дистанционного зондирования район является чистым в смысле содержания  $\text{NH}_3$ .

Таким образом, сравнение подтвердило возможность использования результатов спутникового мониторинга для оценки приповерхностной концентрации аммиака даже в незагрязнённых районах с учётом перечисленных ограничений. В дальнейшем при построении полей концентрации аммиака у поверхности рассматривались весенние, летние и осенние месяцы.

### Поля концентрации

Для построения полей приповерхностной концентрации аммиака рассмотрен регион от  $51^\circ$  с. ш.,  $95^\circ$  в. д. до  $64^\circ$  с. ш.,  $120^\circ$  в. д. (рис. 3, см. с. 269).

Рассматриваемый регион был разбит на квадраты со стороной  $1^\circ$ , после чего для каждой такой ячейки вычислялись среднее и дисперсия всех измерений, попадающих в эту ячейку за период с 2015 по 2017 г. включительно. Затем общее содержание было пересчитано к приземной концентрации.



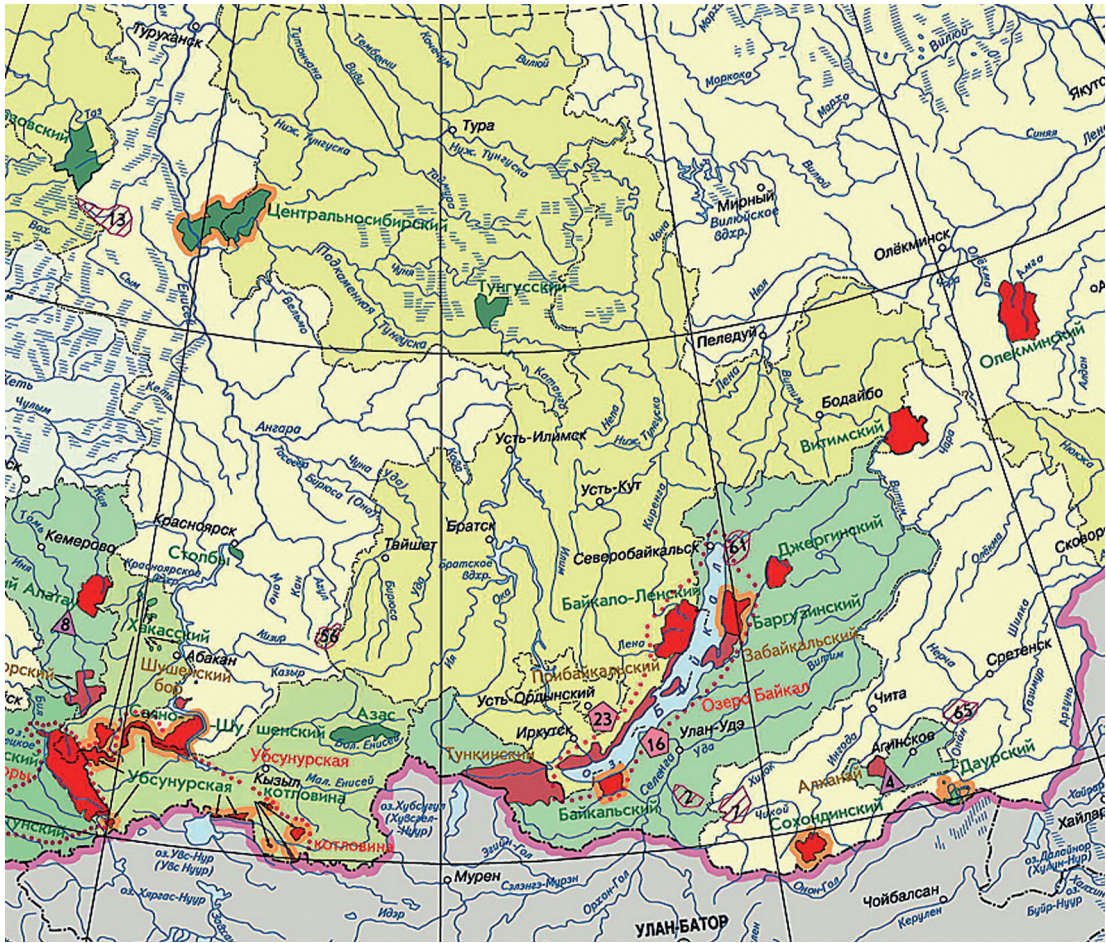


Рис. 3. Регион, для которого проводится оценка полей концентрации аммиака, с указанием основных заповедников (выделены красным цветом)

Средняя концентрация, а также изменчивость (корень из дисперсии) аммиака для весны приведены на рис. 4. Разброс значений концентрации по региону небольшой. В целом картина достаточно однородная, за несколькими исключениями.

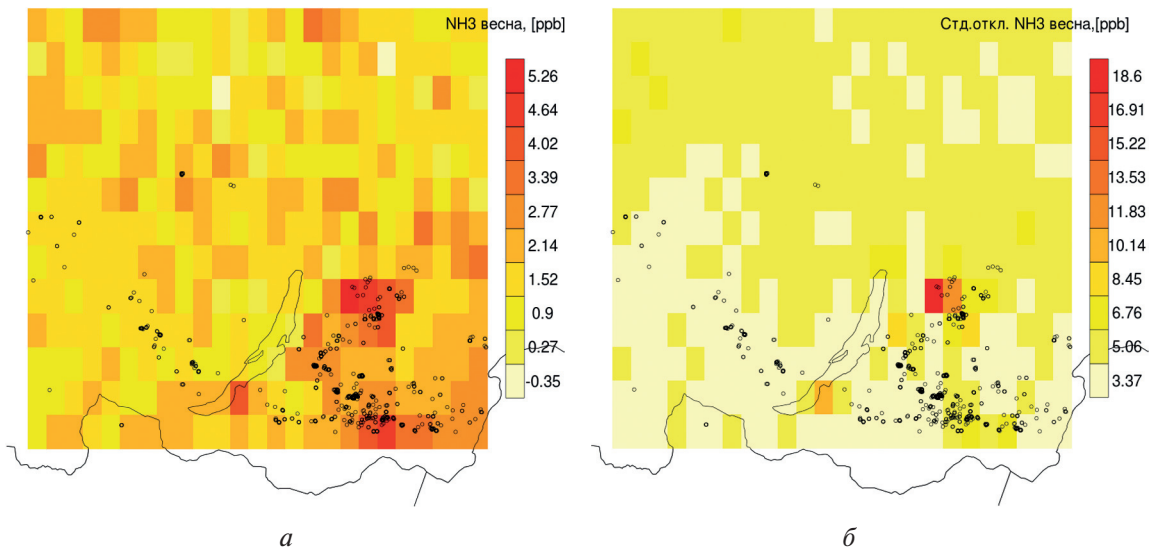


Рис. 4. Поле средней концентрации аммиака (а) и дисперсии (б) для весенних месяцев 2015, 2016 и 2017 гг.; чёрными точками обозначена локализация основных пожаров с 2015 по 2017 г.

Повышенная средняя концентрация в районе Джергинского заповедника дополняется большой изменчивостью. Это означает, что концентрация не является стабильно высокой, а существует несколько экстремальных значений. Причиной могут быть лесные пожары, вносящие очень большой разовый вклад в содержание аммиака. Наибольшее содержание в столбе атмосферы (порядка  $1e17$  единиц Добсона, что составляет около 40 ppb в пересчёте к приземной концентрации) за рассматриваемый период времени здесь отмечается 11.05.2016, 12.05.2016 и 13.05.2016. Это может быть связано с лесными пожарами, происходившими в этих же числах ([http://sci-vega.ru/press/fire/obzor2016/20160511\\_obzor.pdf](http://sci-vega.ru/press/fire/obzor2016/20160511_obzor.pdf)). Аналогичные ситуации наблюдаются в районах Баргузинского и Байкальского заповедников.

В юго-восточной части Забайкальского края средняя концентрация выше, чем в западной части рассматриваемого региона, в то время как изменчивость невелика. В отличие от описанной для Курумканского заповедника ситуации с пожарами, это может говорить о том, что средняя концентрация в течение весеннего периода в целом повышенная, с небольшой изменчивостью.

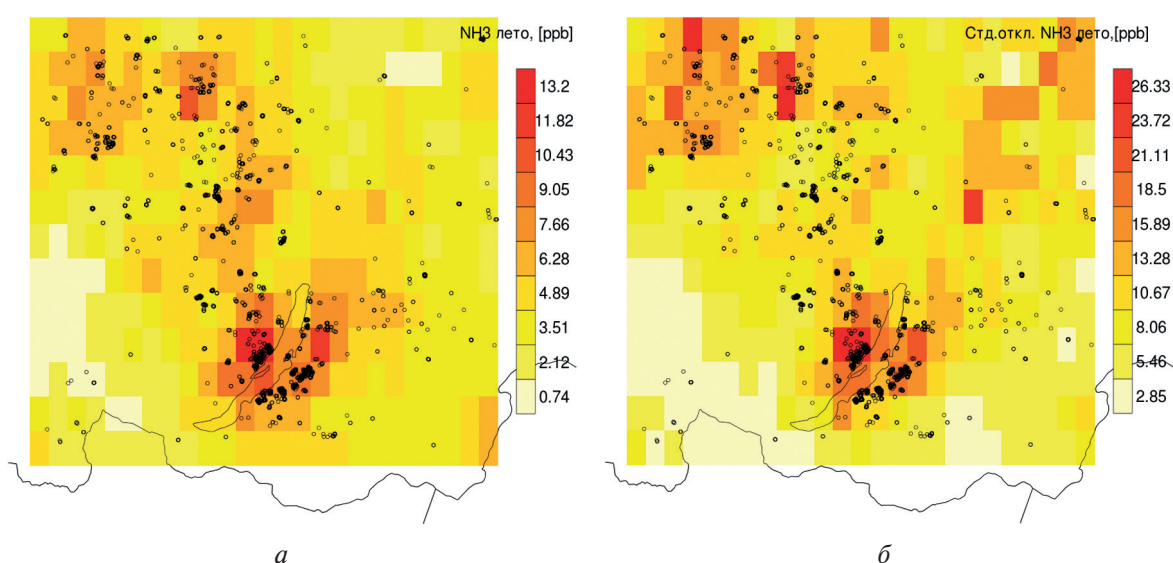


Рис. 5. Поле средней концентрации аммиака (а) и дисперсии (б) для летних месяцев 2015, 2016 и 2017 гг.; чёрными точками обозначена локализация основных пожаров с 2015 по 2017 г.

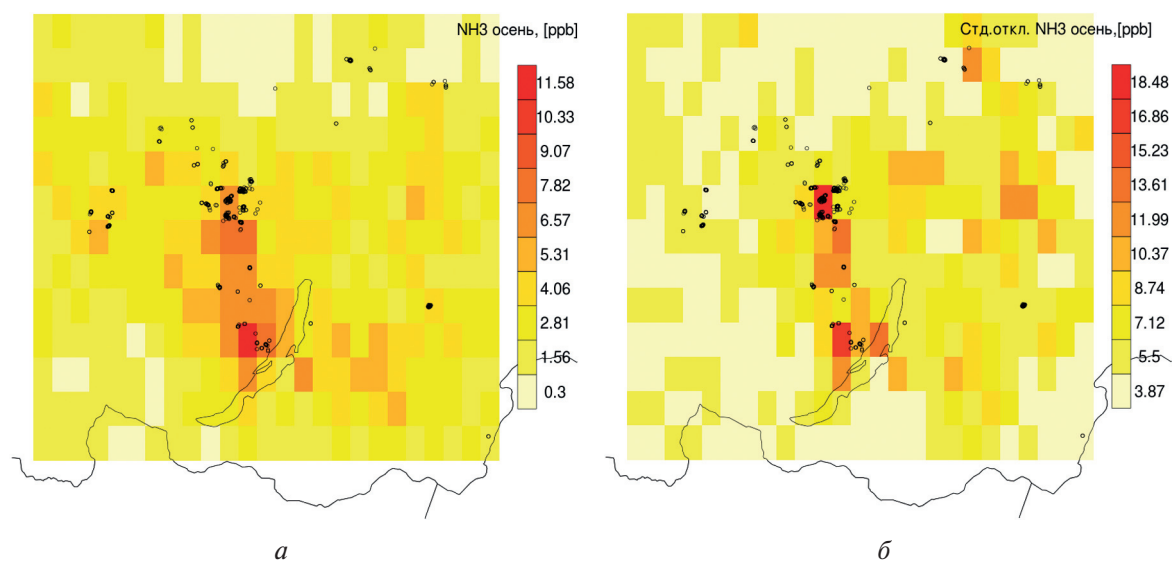


Рис. 6. Поле средней концентрации аммиака (а) и дисперсии (б) для осенних месяцев 2015, 2016 и 2017 гг.; чёрными точками обозначена локализация основных пожаров с 2015 по 2017 г.



В летний период наблюдаются выраженные области высокой средней концентрации, совпадающие с областями высокой изменчивости (рис. 5, см. с. 270). По сравнению с весенней концентрацией наибольшая средняя концентрация значительно выше. Разброс значений средней концентрации тоже больше. Основные области повышенных средних значений и дисперсии расположены вокруг Байкала и в Эвенкийском районе Красноярского края. Средняя концентрация в отдельных областях достигает 13 ppb, что соответствует среднему уровню содержания  $\text{NH}_3$  в атмосфере на северокитайской равнине (Xu et al., 2016), которая является одним из наиболее интенсивно обрабатываемых сельскохозяйственных регионов в мире.

Осенью в центральной части региона отмечается достаточно высокая средняя концентрация, сравнимая с летней, одновременно с большой изменчивостью (рис. 6, см. с. 270). Остальная область однородна, с небольшой средней концентрацией и небольшой изменчивостью.

Причиной высокой концентрации вкупе с большой изменчивостью могут быть экстремальные выбросы аммиака, например, от разового внесения азотных удобрений, вследствие лесных пожаров или по каким-либо другим причинам. В рассматриваемом регионе отсутствуют крупные сельскохозяйственные угодья, удобрение почвы на которых могло бы оказать столь существенный вклад в повышенное содержание  $\text{NH}_3$  летом и осенью. Одним из возможных объяснений являются лесные пожары, в дымовом шлейфе которых концентрация аммиака может превышать 100 ppb (Hegg et al., 1988). На рис. 4–6 отмечены места основных пожаров (чёрные точки), происходивших в рассматриваемом регионе с 2015 по 2017 г. по данным прибора MODIS (MODIS Collection 6 NRT, <https://earthdata.nasa.gov/firms>) (Justice et al., 2002). Критериями для обозначения пожаров являлись: достоверность обнаружения более 90 %, индекс FRP (Fire Radiative Power — измеренная мощность излучения) более 500. Видно, что локализация пожаров практически совпадает с областями повышенной концентрации. Таким образом, можно предположить, что в Байкальском регионе именно пожары вносят наибольший вклад в выброс аммиака в атмосферу.

## Заключение

С помощью спутникового продукта была оценена среднесезонная концентрация аммиака в нижней тропосфере в Байкальском регионе. Данные дистанционного зондирования позволяют получить пространственную картину распределения концентрации. Максимальное среднее содержание аммиака наблюдается в летние месяцы. Показано, что существуют области, где средняя концентрация невелика во все рассматриваемые сезоны. Станции сети мониторинга EANET, с измерениями на которых проводилось сравнение данных дистанционного зондирования Земли, расположены в относительно чистых в смысле содержания аммиака регионах, особенно с учётом завышения концентрации в спутниковом продукте при очень низких их значениях. В то же время, несмотря на то что содержание аммиака в атмосфере достаточно изменчиво в пространстве и времени, существуют выраженные связанные области, где средняя концентрация значительно превышает фоновое загрязнение.

Обработка данных спутниковых измерений выполнена в рамках темы научно-исследовательской работы по Плану Фундаментальных научных исследований государственных академий наук № 0148-2019-0009, АААА-А19-119022190173-2 «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России».

Сравнение данных наземных и спутниковых измерений выполнено в рамках темы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ 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 (EANET)» (План НИТР Росгидромета на 2020 г., т. 4.4).

## Литература

1. Beer R., Shephard M. W., Kulawik S. S., Clough S. A., Eldering A., Bowman K. W., Sander S. P., Fisher B. M., Payne V. H., Luo M., Osterman G. B., Worden J. R. First satellite observations of lower tropospheric ammonia and methanol // *Geophysical Research Letters*. 2008. V. 35. P. L09801. DOI: 10.1029/2008GL033642.
2. Clarisse L., Clerbaux C., Dentener F., Hurtmans D., Coheur P.-F. Global ammonia distribution derived from infrared satellite observations // *Nature Geoscience*. 2009. V. 2(7). P. 479–483. DOI: 10.1038/ngeo551.
3. Health Effects of Particulate Matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. World Health Organization, 2013. 20 p. URL: [www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf).
4. Hegg D., Radke L., Hobbs P., Riggan P. Ammonia emissions from biomass burning // *Geophysical Research Letters*. 1988. V. 15. DOI: 10.1029/GL015i004p00335.
5. Justice C. O., Giglio L., Korontzi S., Roy D., Owens J., Alleaume S., Morissette J., Roy D., Petitcolin F., Descloitres J., Kaufman Y. Global fire products from MODIS // *Remote Sensing of Environment*. 2002. V. 83. P. 245–263.
6. Malm W. C., Schichtel B. A., Pitchford M. L., Ashbaugh L. L., Eldred R. A. Spatial and monthly trends in speciated fine particle concentration in the United States // *J. Geophysical Research*. 2004. V. 109. P. D03306. DOI: 10.1029/2003JD003739.
7. Sheppard L. J., Leith I. D., Mizunuma T., Cape J. N., Crossley A., Leeson S., Sutton M. A., Dijk N. V., Fowler D. Dry deposition of ammonia gas drives species change faster than wet deposition of ammonium ions: evidence from a long-term field manipulation // *Global Change Biology*. 2011. V. 17. P. 3589–3607. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02478.
8. Third Periodic Report on the State of Acid Deposition in East Asia. Part III: Executive Summary. Acid Deposition Monitoring Network in East Asia. 2016. 55 p. URL: [https://www.eanet.asia/wp-content/uploads/2019/03/3\\_ex.pdf](https://www.eanet.asia/wp-content/uploads/2019/03/3_ex.pdf).
9. Van Damme M., Wichink Kruit R. J., Schaap M., Clarisse L., Clerbaux C., Coheur P.-F., Dammers E., Dolman A. J., Erismann J. W. Evaluating four years of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) over Europe using IASI satellite observations and LOTOS-EUROS model results // *J. Geophysical Research: Atmospheres*. 2014. V. 119. P. JD021911. DOI: 10.1002/2014JD021911.
10. Van Damme M., Clarisse L., Dammers E., Liu X., Nowak J. B., Clerbaux C., Flechard C. R., Galy-Lacaux C., Xu W., Neuman J. A., Tang Y. S., Sutton M. A., Erismann J. W., Coheur P. F. Towards validation of ammonia (NH<sub>3</sub>) measurements from the IASI satellite // *Atmospheric Measurement Techniques*. 2015. V. 8. P. 1575–591. URL: <https://doi.org/10.5194/amt-8-1575-2015>.
11. Van Damme M., Whitburn S., Clarisse L., Clerbaux C., Hurtmans D., Coheur P.-F. Version 2 of the IASI NH<sub>3</sub> neural network retrieval algorithm: near-real-time and reanalysed datasets // *Atmospheric Measurement Techniques*. 2017. V. 10. P. 4905–4914. URL: <https://doi.org/10.5194/amt-10-4905-2017>.
12. Warner J. X., Wei Z., Strow L. L., Dickerson R. R., Nowak R. Global Ammonia Sources Seen by AIRS 13-years Measurements // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2016. V. 16. P. 5467–5479. DOI: 10.5194/acp-16-5467-2016.
13. Warner J. X., Dickerson R. R., Wei Z., Strow L. L., Wang Y., Liang Q. Increased atmospheric ammonia over the world's major agricultural areas detected from space // *Geophysical Research Letters*. 2017. V. 44(6). P. 2875–2884. DOI: 10.1002/2016GL072305.
14. Whitburn S., Van Damme M., Clarisse L., Bauduin S., Heald C. L., Hadji-Lazaro J., Hurtmans D., Zondlo M. A., Clerbaux C., Coheur P.-F. A flexible and robust neural network IASI-NH<sub>3</sub> retrieval algorithm // *J. Geophysical Research: Atmospheres*. 2016 V. 121. P. 6581–6599. DOI: 10.1002/2016JD024828.
15. Xu W., Wu Q., Liu X., Tang A., Dore A. J., Heal M. R. Characteristics of ammonia, acid gases, and PM for three typical land-use types in the North China Plain // *Environmental Science and Pollution Research Intern*. 2016. V. 23. P. 1158–1172. URL: <http://doi.org/10.1007/s11356-015-5648-3>.



## Ammonia amount in the lower troposphere of Baikal region from satellite and ground based measurements

A. M. Trifonova-Yakovleva<sup>1,2</sup>, S. A. Gromov<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Geography RAS, Moscow 119017, Russia*

<sup>2</sup> *Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Moscow 107258, Russia*  
*E-mail: yakovleva.eanet@gmail.com*

Ammonia (NH<sub>3</sub>) in the atmosphere is one of the main causes of acid deposition and formation of PM<sub>2.5</sub> particulate matter. Its monitoring is performed in many air quality monitoring networks including Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET). To obtain information about spatial distribution of ammonia, data retrieved from IASI instrument aboard MetOp-A satellite was used in this study. It was shown that remote sensing data and near surface ammonia measurements at EANET sites in Baikal region are in a good agreement for all the seasons except winter. Mean spring, summer and fall concentrations at 1×1° grid in Baikal region were calculated for the years from 2015 to 2017. Mean spring amount of ammonia near the surface is not high for the whole region. However, in summer and fall there are areas where concentrations far exceed background levels. These areas are mainly located closely to Lake Baikal and in Evenk District of Krasnoyarsky Krai. The most intensive forest fires registered by MODIS instrument measurements during the considered period occurred in same areas. It allows suggesting that the main sources of ammonia in atmosphere in the considered region are forest fires.

**Keywords:** ammonia, remote sensing, regional pollution, EANET, atmosphere

Accepted: 21.02.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-265-274

### References

1. Beer R., Shephard M. W., Kulawik S. S., Clough S. A., Eldering A., Bowman K. W., Sander S. P., Fisher B. M., Payne V. H., Luo M., Osterman G. B., Worden J. R., First satellite observations of lower tropospheric ammonia and methanol, *Geophysical Research Letters*, 2008, Vol. 35, p. L09801, DOI: 10.1029/2008GL033642.
2. Clarisse L., Clerbaux C., Dentener F., Hurtmans D., Coheur P.-F., Global ammonia distribution derived from infrared satellite observations, *Nature Geoscience*, 2009, Vol. 2(7), pp. 479–483, DOI: 10.1038/ngeo551.
3. *Health Effects of Particulate Matter, Policy implications for countries in Eastern Europe, Caucasus and central Asia*, World Health Organization, 2013, 20 p., available at: [www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf).
4. Hegg D., Radke L., Hobbs P., Riggan P., Ammonia emissions from biomass burning, *Geophysical Research Letters*, 1988, Vol. 15, DOI: 10.1029/GL015i004p00335.
5. Justice C. O., Giglio L., Korontzi S., Roy D., Owens J., Alleaume S., Morisette J., Roy D., Petitcolin F., Descloitres J., Kaufman Y., Global fire products from MODIS, *Remote Sensing of Environment*, 2002, Vol. 83, pp. 245–263.
6. Malm W. C., Schichtel B. A., Pitchford M. L., Ashbaugh L. L., Eldred R. A., Spatial and monthly trends in speciated fine particle concentration in the United States, *J. Geophysical Research*, 2004, Vol. 109, p. D03306, DOI: 10.1029/2003JD003739.
7. Sheppard L. J., Leith I. D., Mizunuma T., Cape J. N., Crossley A., Leeson S., Sutton M. A., Dijk N. V., Fowler D., Dry deposition of ammonia gas drives species change faster than wet deposition of ammonium ions: evidence from a long-term field manipulation, *Global Change Biology*, 2011, Vol. 17, pp. 3589–3607, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02478.
8. *Third Periodic Report on the State of Acid Deposition in East Asia. Part III: Executive Summary*, Acid Deposition Monitoring Network in East Asia, 2016, 55 p., available at: [https://www.eanet.asia/wp-content/uploads/2019/03/3\\_ex.pdf](https://www.eanet.asia/wp-content/uploads/2019/03/3_ex.pdf).
9. Van Damme M., Wichink Kruit R. J., Schaap M., Clarisse L., Clerbaux C., Coheur P.-F., Dammers E., Dolman A. J., Erismann J. W., Evaluating four years of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) over Europe using IASI satellite observations and LOTOS-EUROS model results, *J. Geophysical Research: Atmospheres*, 2014, Vol. 119, p. JD021911, DOI: 10.1002/2014JD021911.

10. Van Damme M., Clarisse L., Dammers E., Liu X., Nowak J. B., Clerbaux C., Flechard C. R., Galy-Lacaux C., Xu W., Neuman J. A., Tang Y. S., Sutton M. A., Erismann J. W., Coheur P. F., Towards validation of ammonia (NH<sub>3</sub>) measurements from the IASI satellite, *Atmospheric Measurement Techniques*, 2015, Vol. 8, pp. 1575–1591, available at: <https://doi.org/10.5194/amt-8-1575-2015>.
11. Van Damme M., Whitburn S., Clarisse L., Clerbaux C., Hurtmans D., Coheur P.-F., Version 2 of the IASI NH<sub>3</sub> neural network retrieval algorithm: near-real-time and reanalysed datasets, *Atmospheric Measurement Techniques*, 2017, Vol. 10, pp. 4905–4914, available at: <https://doi.org/10.5194/amt-10-4905-2017>.
12. Warner J. X., Wei Z., Strow L. L., Dickerson R. R., Nowak R., Global Ammonia Sources Seen by AIRS 13-years Measurements, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, Vol. 16, pp. 5467–5479, DOI: 10.5194/acp-16-5467-2016.
13. Warner J. X., Dickerson R. R., Wei Z., Strow L. L., Wang Y., Liang Q., Increased atmospheric ammonia over the world's major agricultural areas detected from space, *Geophysical Research Letters*, 2017, Vol. 44(6), pp. 2875–2884, DOI: 10.1002/2016GL072305.
14. Whitburn S., Van Damme M., Clarisse L., Bauduin S., Heald C. L., Hadji-Lazaro J., Hurtmans D., Zondlo M. A., Clerbaux C., Coheur P.-F., A flexible and robust neural network IASI-NH<sub>3</sub> retrieval algorithm, *J. Geophysical Research: Atmospheres*, 2016, Vol. 121, pp. 6581–6599, DOI: 10.1002/2016JD024828.
15. Xu W., Wu Q., Liu X., Tang A., Dore A. J., Heal M. R., Characteristics of ammonia, acid gases, and PM for three typical land-use types in the North China Plain, *Environmental Science and Pollution Research Intern.*, 2016, Vol. 23, pp. 1158–1172, available at: <http://doi.org/10.1007/s11356-015-5648-3>.