

## Влияние выбросов от стационарных источников на загрязнение атмосферных осадков неорганическим азотом на примере г. Севастополя

А. В. Вареник

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия*  
*E-mail: alla.varenik@mhi-ras.ru*

Поступила в редакцию 14.10.2019 г., после доработки – 07.02.2020 г.

*Цель.* Котельные являются обязательным и неотъемлемым элементом инфраструктуры современного населенного пункта. Однако каждая котельная установка имеет существенный, хотя и зачастую многими не оцениваемый недостаток: в результате ее работы в атмосферный воздух поступают вредные выбросы. Затем эти выбросы в виде атмосферных осадков попадают на подстилающую поверхность, загрязняя почвы, водоемы (особенно прибрежные экосистемы) и т. д. Цель работы – изучить влияние выбросов загрязняющих веществ при работе стационарных источников тепла (котельных) на загрязнение атмосферного воздуха и осадков неорганическим азотом.

*Методы и результаты.* По данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по г. Севастополю, в 2016 г. резко возросло количество котельных, что привело к увеличению выбросов оксидов азота в атмосферный воздух. Чтобы оценить возможное влияние выбросов от котельных на загрязнение атмосферных осадков в г. Севастополе, был проведен анализ данных, полученных при обработке проб атмосферных осадков, на содержание в них окисленных форм азота совместно с оценкой изменения количества котельных, их видов, а также изменения объемов выбросов от котельных установок города в 2015–2018 гг.

*Выводы.* В результате выполнения работы показано двукратное увеличение потока неорганического азота с атмосферными осадками в холодный период года. Анализ показал тесную корреляцию концентрации окисленного азота в атмосферных осадках и выбросов оксидов азота от котельных.

**Ключевые слова:** атмосферные осадки, котельные, загрязнение воздуха, выбросы азота.

**Благодарности:** автор выражает благодарность сотрудникам Морской гидрометеорологической станции «Севастополь» за отбор проб атмосферных осадков и предоставление данных о метеоусловиях, при которых эти осадки выпадали. Работа выполнена в рамках темы № 0827-2018-0004, проекта РФФИ № 18-05-80028 Опасные явления «Исследование и оценка роли гидрофизических и биогеохимических процессов в формировании зон дефицита кислорода и сероводородного заражения прибрежных районов Крымского полуострова и Керченского пролива».

**Для цитирования:** Вареник А. В. Влияние выбросов от стационарных источников на загрязнение атмосферных осадков неорганическим азотом на примере г. Севастополя // Морской гидрофизический журнал. 2020. Т. 36, № 3. С. 277–286. doi:10.22449/0233-7584-2020-3-277-286

# Influence of Emissions from the Stationary Heat Sources upon the Atmospheric Precipitation Pollution with Inorganic Nitrogen in the Sevastopol Region

A. V. Varenik

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia  
e-mail: alla.varenik@mhi-ras.ru*

*Purpose.* Boiler houses are currently an indispensable and integral element of infrastructure in any settlement. They supply us with hot water; provide heating of living quarters, working areas etc. However, functioning of each stationary heat source has a significant drawback: harmful emissions to the atmosphere. These emissions via the atmospheric precipitations fall on the underlying surface contaminating water, especially coastal ecosystems, soils etc. The aim of the work is to study the effect of such emissions from the stationary heat sources upon pollution of the air and atmospheric precipitations with inorganic nitrogen.

*Methods and Results.* To evaluate possible effect of emissions from the boiler houses upon the atmospheric precipitation pollution in Sevastopol, the results of chemical analysis of the nitrogen oxidized forms' concentration in the precipitation samples were scrutinized, and the increased number of the boiler houses, their types and, hence, growth of their emissions in 2015–2018 were assessed.

*Conclusions.* According to the data provided by the Office of Federal State Statistics Service for Sevastopol, in 2016 the number of the boiler houses increased sharply that resulted in growth of the nitrogen oxides emissions to the atmosphere. At the same time, our data showed a two-fold increase of the inorganic nitrogen flow with the atmospheric precipitations in a cold period. Having been analyzed, the oxidized nitrogen concentration in precipitations and the nitrogen oxides' emissions from the boiler houses in Sevastopol, demonstrated close correlation. However, in 2018, despite the increased number of the boiler houses, a significant decrease in emissions from the stationary heat sources was observed; it is confirmed by our data on the inorganic nitrogen flow with the atmospheric precipitations.

**Keywords:** atmospheric precipitation, boiler houses, air pollution, nitrogen emissions.

**Acknowledgements:** the author is thankful to the staff of the Marine hydrometeorological station "Sevastopol" for sampling the atmospheric precipitations and providing the data on the meteorological conditions attending the precipitations. The investigation was carried out within the framework of theme No. 0827-2018-0004 and the RFBR project No. 18-05-80028 Hazardous phenomena "Studies and scaling of water dynamics and biogeochemical processes in development of oxygen deficit and sulfidic conditions in coastal regions of Crimea and Kerch Strait".

**For citation:** Varenik, A.V., 2020. Influence of Emissions from the Stationary Heat Sources upon the Atmospheric Precipitation Pollution with Inorganic Nitrogen in the Sevastopol Region. *Physical Oceanography*, [e-journal] 27(3), pp. 257-265. doi:10.22449/1573-160X-2020-3-257-265

## Введение

Деятельность человека в последние десятилетия привела к существенному загрязнению всех компонентов окружающей среды – атмосферы, гидросферы и литосферы. В крупных городах одними из основных источников загрязнения атмосферного воздуха являются объекты малой энергетики – отопительные котельные, работающие на различных видах топлива: твердом, жидком и газообразном<sup>1</sup>, – а также автомобильный транспорт. Оба эти источника поставляют в атмосферу городов различные загрязняющие вещества, в том числе и неорганические соединения азота.

<sup>1</sup> Акимова Т. А., Хаскин В. В. Экология. Человек – Экономика – Биота – Среда. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2012. 495 с. URL: [https://drive.google.com/file/d/1\\_rLKDwH8455r9vkk-WR92ur-waZGe8s1/view](https://drive.google.com/file/d/1_rLKDwH8455r9vkk-WR92ur-waZGe8s1/view) (дата обращения: 06.02.2020).

Оксиды азота  $\text{NO}_x$  являются основными токсичными компонентами, образующимися в процессе сгорания ископаемого топлива. Они примерно в 10 раз опаснее оксидов углерода [1].

В работе [2] авторы утверждают, что в 2015 г. среди оцениваемых загрязнителей в г. Белу-Оризонти (Бразилия), с учетом всех источников, выбросы оксидов азота были максимальными и составили 305 т/год. Эмиссия этого загрязняющего вещества тесно связана с процессами горения. Выбросы оксидов азота в г. Белу-Оризонти происходили главным образом в промышленных котельных, на биогазовых установках и на металлургических заводах.

Объемы поступающих в атмосферу загрязняющих веществ напрямую связаны с качеством и количеством используемого топлива, а также с применяемыми системами очистки отходящих газов (или с отсутствием таких систем). Для топливно-энергетических систем (ТЭС), работающих на газообразном топливе, основными загрязняющими веществами являются оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) и оксид углерода (СО); для ТЭС, сжигающих жидкое топливо, – оксиды азота, сернистый ангидрид ( $\text{SO}_2$ ), оксид углерода и мазутная зола; для ТЭС на твердом топливе – оксиды азота, сернистый ангидрид, оксид углерода, твердые вещества<sup>2</sup>.

По данным [3], в Томской области наибольшие значения выбросов оксидов азота отмечаются при сжигании мазута (в диапазоне от 2 до 25 т в год) и природного газа (до 15 т в год). Величина выбросов азота от любой из котельных на твердом топливе не превышает 100 кг в год. В сумме количество выбросов вредных веществ пропорционально мощности котельной.

Авторы [4] подсчитали, что объемы выбросов оксидов азота при производстве горячей воды значительно различаются в теплый и холодный периоды. Так, в летний сезон выбросы составляют 539 мг/с, в отопительный сезон – 3175 мг/с.

Согласно [5], в Польше также одной из наиболее серьезных проблем является загрязнение воздуха от котельных установок. Это объясняется главным образом предпочтением угля в качестве топлива для котельных, использованием старых низкоэффективных котлов и длительным отопительным периодом в этой стране (не менее 5 месяцев), обусловленным расположением Польши в умеренном климатическом поясе [5]. В этой работе автор показывает, что количество оксидов азота, поступающего в атмосферу, максимально при использовании угля (470 мг/кВт·ч). Наиболее экологически чистым топливом является газ: выбросы оксидов азота от газовых котельных на порядок меньше, чем от угольных, и составляют 30 мг/кВт·ч.

Энергетические и экологические аспекты производства тепловой энергии играют важную роль в контексте устойчивого развития каждой страны. В экологическом контексте становится важным максимально сократить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, возникающие в результате использования возобновляемых источников энергии [6].

---

<sup>2</sup> Нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС. URL: [https://vti.ru/files/public/uchebno-metod\\_posobie-k\\_soglasheniyu\\_0665.pdf](https://vti.ru/files/public/uchebno-metod_posobie-k_soglasheniyu_0665.pdf) (дата обращения: 10.09.2019 г.).

В 2012 г. 6 января вступила в силу Директива 2010/75/ЕС<sup>3</sup>, в которой рассматриваются стандарты в отношении основных загрязнителей, образующихся при сжигании органического топлива в тепловых установках. Предельные значения концентрации оксидов азота для котельных установок, сжигающих газ, согласно действующим после 01.01.2016 г. нормативам, составляют 100 мг/м<sup>3</sup>. Предельные выбросы для котельных<sup>2</sup>, использующих другие виды топлива, показаны в табл. 1.

Т а б л и ц а 1  
Table 1

**Нормирование концентрации оксидов азота в выбросах от котельных установок**  
**Extreme values of nitrogen oxides for solid and liquid fuels**

Тепловая мощность котельной установки, МВт <sub>т</sub> / Boiler plant heat capacity, MW	Предельно-допустимая концентрация, мг/м <sup>3</sup> , оксидов азота в выбросах при использовании котельными / Maximum concentration limit, mg/m <sup>3</sup> , of nitrogen oxides in emissions in case a boiler house applies		
	твердого топлива (уголь и другие) / coal and other solid fuels	биомассы и торфа / biomass and peat	жидкого топлива / liquid fuel
50–100	300 *	250	300
	400 **		
100–300	200	200	150
> 300	150	150	100
	200 **		

\* Каменный уголь / Coal.

\*\* Бурый уголь / Brown coal.

Следовательно, переход котельными города на газообразное топливо должен положительно сказаться на качестве атмосферного воздуха, так как при сжигании природного газа выбросы сернистых веществ и ртути отсутствуют, а оксидов азота в расчете на единицу энергии выделяется в несколько раз меньше, чем при использовании нефти, бензина или угля<sup>4</sup>.

В работе [7] авторы проанализировали стратегии сокращения выбросов с помощью модели *UISIS-PNP* путем изменения используемого вида топлива или установки технологий для снижения выбросов в атмосферу. Например, переход с угля на природный газ или биомассу может сократить вдвое выбросы SO<sub>2</sub>. Переход на биомассу обеспечивает дополнительное преимущество в виде сокращения выбросов CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>. Установка специальной технологии контроля выбросов *SCR (Selective Catalytic Reduction)* позволяет добиться снижения выбросов NO<sub>x</sub> из древесины на ~ 75 %, а из угля, природного газа и остаточной нефти – на 90 %.

<sup>3</sup> Directive 2010/35/EU of the European Parliament and of the Council of 16 June 2010 on transportable pressure equipment and repealing Council Directives 76/767/EEC, 84/525/EEC, 84/526/EEC, 84/527/EEC and 1999/36/EC (Text with EEA relevance) // Official Journal of the European Union. L 165. Vol. 53. P. 1–18. doi:10.3000/17252555.L\_2010.165.eng

<sup>4</sup> Экология теплоэнергетики / сост.: О. Ф. Крацкая, И. Н. Прокопеня. Минск : БНТУ, 2014. 107 с.

Примеси, содержащиеся в атмосферном воздухе, вымываются атмосферными осадками, что, с одной стороны, очищает городскую атмосферу, а с другой стороны, может негативно влиять на экологическое состояние подстилающей поверхности. К примеру, выпадающий с атмосферными осадками в прибрежные воды неорганический азот может вносить существенный вклад в интенсивность цветения водорослей, что, в свою очередь, способствует усилению эвтрофикации и появлению зон гипоксии прибрежных вод в теплый период, а также изменению классического соотношения Редфилда для азота, фосфора и углерода [8, 9]. Учитывая, что необходимой задачей мониторинга качества морской среды является контроль за распространением различных загрязнений [10], важно иметь представление об источниках поступления загрязняющих веществ, в том числе с атмосферными осадками [11].

Целью данного исследования являлась оценка возможного влияния работы котельных установок г. Севастополя – одного из наиболее развитых городов в прибрежной зоне Крымского п-ова – на содержание неорганических соединений азота в атмосферных осадках.

### Методы и материалы

Отбор проб атмосферных осадков в 2015–2018 гг. проводился в г. Севастополе на Павловском мысу сотрудниками Морской гидрометеорологической станции (МГС) «Севастополь» в соответствии с Руководством по контролю за загрязнением атмосферы<sup>5</sup>. С началом выпадения осадков фиксировались метеоусловия, которые могут оказывать существенное влияние на загрязнение осадков [12]: скорость и направление ветра, температура воздуха, относительная влажность воздуха, а также количество выпавших осадков. Пробы отбирались в *wet-only* осадкосборник – это исключало попадание в него посторонних примесей в промежутке между выпадением осадков. МГС «Севастополь» работает в круглосуточном режиме, что позволяет осуществлять корректную процедуру отбора проб, получать более точное время начала выпадения осадков, а также значения метеорологических условий на момент начала осадков.

Поскольку основными формами азота, содержащимися в выбросах котельных установок, являются оксид и диоксид азота, в работе анализировались именно окисленные формы – нитраты и нитриты. Химический анализ проб осадков проводился в отделе биогеохимии моря Морского гидрофизического института РАН. Сумма нитратов и нитритов определялась методом восстановления нитратов до нитритов через омедненный кадмиевый редуктор на автоматическом анализаторе биогенных элементов *AutoAnalyzer AA II*<sup>6</sup> фирмы *Bran+Luebbe* (Швейцария). Величину выпадений (поток) окисленных форм азота рассчитывали как произведение суммарной концентрации нитритного и нитратного азота в пробах осадков и количества осадков, выпавших на единицу площади за определенный период.

<sup>5</sup> РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Введ. 1991-07-01. М., 1991.

<sup>6</sup> Bran Luebbe AutoAnalyzer Applications: AutoAnalyzer Method No. G-172-96 Nitrate and nitrite in water and seawater. Buffalo Grove, IL.: Bran Luebbe, Inc., 1996. 9 p. URL: <http://www.environmentdata.org/archive/dtcavon:204/OBJ/preview.pdf> (date of access: 03.05.2020).

Сведения о количестве котельных в г. Севастополе в 2015–2018 гг., работающих на различных видах топлива, объемы и характеристики выбросов от стационарных источников загрязнения получены из данных Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по г. Севастополю (Крымстат). С 2018 г. данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух г. Севастополя предоставляет Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя (Севприроднадзор).

### Результаты и обсуждение

Всего за период с 2015 по 2018 г. было отобрано и проанализировано 333 пробы атмосферных осадков, в каждой пробе была определена концентрация нитратного и нитритного азота.

Данные по выбросам оксидов азота при работе котельных в 2014–2018 гг. в г. Севастополе представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2  
T a b l e 2

#### Выбросы загрязняющих веществ, т, от стационарных источников в атмосферу г. Севастополя в исследуемый период Emissions of pollutants from the stationary heat sources to the atmosphere in Sevastopol during the period under study

Загрязняющие вещества / Pollutants	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Все выбросы / All pollutants</b>	1462	1709	4397	5377	3034
В том числе: / Including: оксид азота (в пересчете на NO <sub>2</sub> ) / nitrogen oxide (in terms of NO <sub>2</sub> )	222	378	752	884	195

Как видно из табл. 2, выбросы оксидов азота в атмосферу резко возросли в 2016 г. и к 2017 г. увеличились почти в четыре раза: с 222 т в 2014 г. до 884 т в 2017 г. В 2018 г. выбросы оксидов существенно сократились и вернулись к уровню 2014 г.

Одним из показателей загрязнения атмосферного воздуха является содержание нитратного и нитритного азота в атмосферных осадках, поскольку именно осадки очищают атмосферу от содержащихся в ней примесей. По этой причине данные по концентрации окисленного азота в атмосферных осадках (табл. 3) должны коррелировать с загрязнением атмосферного воздуха в результате работы котельных города.

При анализе данных, представленных в табл. 3, можно заметить, что в 2016 г. по сравнению с предыдущим годом в 1,3 раза возросла средняя концентрация окисленного азота в атмосферных осадках и почти в 2 раза – его максимальная концентрация, а его поток в отопительный период увеличился в 1,7 раза. В этом же году, согласно табл. 2, почти в 2 раза увеличилось количество выбросов NO<sub>2</sub> от стационарных источников г. Севастополя. В 2018 г. выбросы оксидов азота, по данным Севприроднадзора, сократились по срав-

нению с 2017 г. в 4,5 раза – примерно до уровня 2014 г. При этом и средняя, и максимальная концентрация окисленных форм азота в атмосферных осадках так же, как и их поток, в отопительный период снизились в целом более чем в полтора раза и почти вернулись к уровню 2015 г.

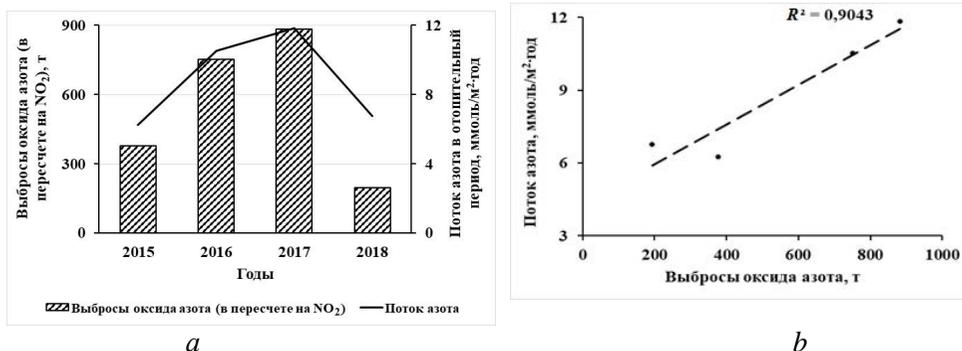
Т а б л и ц а 3

Table 3

**Концентрация и поток окисленных форм азота в атмосферных осадках  
в исследуемый период**  
**Concentration and flow of the oxidized nitrogen forms in the atmospheric  
depositions during the period under study**

Характеристика / Characteristic	2015	2016	2017	2018
Концентрация в отопительный период, мкмоль/л: / Concentration during a heating period, $\mu\text{mol/L}$ :				
– средняя / average	49,22	68,07	73,52	50,26
– максимальная / maximum	172,19	302,63	376,33	177,25
Поток, ммоль/м <sup>2</sup> ·год: / Flow, $\text{mmol} / \text{m}^2 \cdot \text{year}$ :				
– годовой / annual	11,52	17,99	19,53	11,75
– в отопительный период / during heating period	5,96	10,12	11,84	7,22

Более наглядно изменение выбросов азота (в пересчете на  $\text{NO}_2$ ) в атмосферу от стационарных источников и потока окисленных форм азота с осадками можно увидеть на рисунке.



**Р и с.** Межгодовое изменение выбросов оксидов азота и потока окисленных форм азота (нитритного и нитратного азота) с атмосферными осадками (*a*); связь выбросов азота в атмосферу и потока неорганического азота с атмосферными осадками в г. Севастополе (*b*)

**F i g.** Inter-annual variations of the nitrogen oxides' emissions and the nitrogen oxidized forms (nitrite and nitrate nitrogen) flow with atmospheric depositions (*a*); the relationship between the nitrogen emissions to the atmosphere and the inorganic nitrogen flow with atmospheric depositions in Sevastopol (*b*)

Как можно видеть из рисунка, *b*, с увеличением количества выбросов оксидов азота в атмосферу от стационарных источников возрастает и поток окисленных форм азота с атмосферными осадками.

На количество выбросов от котельных установок влияют как вид топлива, используемый в котельной, так и степень очистки отходящих газов. В нашем распоряжении нет данных о степени очистки отходящих газов от всех котельных г. Севастополя. Однако можно проследить количество котельных с делением по используемому виду топлива в исследуемый период.

В табл. 4 представлены данные Управления Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю (Крымстат) и Правительства Севастополя по количеству котельных в г. Севастополе в 2014–2018 гг. (общее число и с делением по виду топлива).

Т а б л и ц а 4  
T a b l e 4

**Число котельных г. Севастополя и динамика расхода топлива в исследуемый период по данным Крымстата**  
**Number of boiler houses in Sevastopol and dynamics of fuel consumption during the period under study based on the Crimea statistics**

Характеристика / Characteristic	2014	2015	2016	2017	2018
Всего котельных / Total number of boiler houses	116	118	133	135	143
В том числе: / Including:					
– на твердом топливе / on solid fuel	21	22	31	30	29
– на жидком топливе / on liquid fuel	3	3	4	4	4
– на газообразном топливе / on gaseous fuel	92	91	98	101	106
– на электричестве / on electricity	–	–	–	–	4*
Расход топлива, тыс. т / Fuel consumption, thousand tons	125,0	137,6	163,3	159,8	156,9

\* Данные взяты из Отчета о результатах деятельности Правительства Севастополя за 2018 год (URL: [https://sevizakon.ru/assets/files/otchety/gubernator/otchet\\_pravit.\\_za\\_2018\\_god.pdf](https://sevizakon.ru/assets/files/otchety/gubernator/otchet_pravit._za_2018_god.pdf)). / The data are from Report on the results of the Sevastopol Government activity in 2018 ([https://sevizakon.ru/assets/files/otchety/gubernator/otchet\\_pravit.\\_za\\_2018\\_god.pdf](https://sevizakon.ru/assets/files/otchety/gubernator/otchet_pravit._za_2018_god.pdf)).

Из табл. 4 видно, что к 2018 г. количество стационарных источников теплоснабжения города по сравнению с 2014 г. возросло со 116 до 143. При этом увеличилось количество котельных, работающих на твердом и газообразном топливе. Резкое увеличение количества котельных произошло в 2016 г. (со 118 до 133), что по времени совпадает с двукратным увеличением выбросов оксидов азота в атмосферу и потока азота с атмосферными осадками по результатам нашего анализа.

Учитывая общее увеличение количества котельных г. Севастополя в 2018 г., можно было бы ожидать как минимум сохранения уровня выбросов оксидов азота от котельных, а скорее их увеличения. Однако наблюдается обратная картина – резкое снижение выбросов (см. табл. 2), что подтверждается и значениями концентрации окисленного азота в атмосферных осадках (см. табл. 3). Возможным объяснением этого может быть усовершенствован-

ние системы очистки отходящих газов от котельных г. Севастополя либо улучшение качества сжигаемого топлива.

### Выводы

Результаты проведенной работы на примере г. Севастополя показали, что существует тесная корреляция между характеристиками работы стационарных источников тепла и количеством окисленных форм азота в атмосферных осадках в отопительный период. С увеличением выбросов от стационарных источников отопления пропорционально увеличивается и поток азота, поступающий с атмосферными осадками на подстилающую поверхность. Подобная ситуация наблюдалась в 2015–2017 гг. Однако в 2018 г. существенно снизилось количество выбросов оксидов азота в результате работы котельных, несмотря на увеличение их общего количества, что также привело к снижению потока нитратного и нитритного азота с атмосферными осадками почти в два раза.

Учитывая, что неорганический азот является одним из основных биогенных элементов для морских экосистем, весьма важно оценивать поступление его с атмосферными осадками и источники этого поступления. Особенно это существенно для прибрежных экосистем, находящихся в условиях повышенного антропогенного прессинга, поскольку избыточное поступление этого биогенного элемента может приводить к нарушению их функционирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mikhailov A. G., Batrakov P. A., Terebilov S. V.* Problems of heat transfer in the furnace of boilers. Overview of calculation methods // Modern scientific research and their practical application / Edited by A. G. Shibaev, A. D. Markova. Odesa : Kupriyenko SV, 2013. Vol. J21310. Article CID Number J21310-084. URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/J21310.pdf> (date of access: 02.05.2020).
2. Regulated air pollutant emissions from higher emitters stationary sources in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil / F. S. Santos [et al.] // Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2019. Vol. 36, № 2. P. 775–784. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20190362s20180352>
3. *Тайлашева Т. С., Красильникова Л. Г., Воронцова Е. С.* Оценка вредных выбросов в атмосферу от котельных Томской области // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 322, № 4. С. 52–55.
4. Emission of Air Pollutants in the Hot Water Production / N. Krzysztof [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 245, iss. 5. 052032. doi:10.1088/1757-899X/245/5/052032
5. *Adamczyk J., Piwowar A., Dziuk M.* Air protection programmes in Poland in the context of the low emission // Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 24, iss. 19. P. 16316–16327. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9233-9>
6. *Kaczmarczyk M., Sowiżdżał A., Tomaszewska B.* Energetic and environmental aspects of individual heat generation for sustainable development at a local scale – A case study from Poland // Energies. 2020. Vol. 13, iss. 2. 454. <https://doi.org/10.3390/en13020454>
7. *Bhander G., Jozewicz W.* Analysis of emission reduction strategies for power boilers in the US pulp and paper industry // Energy and Emission Control Technologies. 2017. Vol. 5. P. 27–37. <https://doi.org/10.2147/ЕЕСТ.S139648>
8. Impacts of atmospheric anthropogenic nitrogen on the open ocean / R. A. Duce [et al.] // Science. 2008. Vol. 320, iss. 5878. P. 893–897. <https://doi.org/10.1126/science.1150369>

9. *Paerl H. W.* Coastal eutrophication and harmful algal blooms: Importance of atmospheric deposition and groundwater as “new” nitrogen and other nutrient sources // *Limnology and Oceanography*. 1997. Vol. 42, iss. 5, part 2. P. 1154–1165. [https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5\\_part\\_2.1154](https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5_part_2.1154)
10. *Belokopytov V. N., Kubryakov A. I., Pryakhina S. F.* Modelling of Water Pollution Propagation in the Sevastopol Bay // *Physical Oceanography*. 2019. Vol. 26, iss. 1. P. 3–12. doi:10.22449/1573-160X-2019-1-3-12
11. *Nasiruddin Khan M., Sarwar A.* Chemical composition of wet precipitation of air pollutants: A case study in Karachi, Pakistan // *Atmósfera*. 2014. Vol. 27, iss. 1. P. 35–46. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(14\)71099-9](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71099-9)
12. *Varenik A. V.* Applying the Brandon Method to Estimate the Concentration of Inorganic Nitrogen in Precipitation // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2019. Vol. 44, iss. 5. P. 326–330. <https://doi.org/10.3103/S1068373919050030>

*Об авторе:*

**Вареник Алла Валерьевна**, старший научный сотрудник, отдел биогеохимии моря, ФГБУН ФИЦ МГИ (299011, Россия, г. Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат географических наук, **SPIN-код: 3277-7914**, **ORCID ID: 0000-0001-5033-4576**, **ResearcherID: H-1880-2014**, [alla.varenik@mhi-ras.ru](mailto:alla.varenik@mhi-ras.ru)