



УДК 551.510.41(571.5)
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.111>

Озон, оксиды серы и азота в приземной атмосфере на Байкальской природной территории

О. И. Хуриганова, В. А. Оболкин, Л. П. Голобокова, Т. В. Ходжер,
В. Л. Потемкин

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

Аннотация. Приводятся результаты исследования пространственной и временной динамики концентраций основных загрязняющих газовых примесей (O_3 , SO_2 , NO_x) в 2015–2016 гг. на трех постоянных станциях мониторинга атмосферы на Байкальской природной территории, которая расположена на юге Восточной Сибири. Измерения в режиме мониторинга выполнены пассивным (диффузный), принудительным (прокачивание через фильтры) и прямым (с использованием газоанализаторов) методами, между которыми наблюдается хорошая корреляция – в пределах от 0,7 и выше.

Результаты исследований подтвердили выявленные ранее тенденции годового хода в распределении озона в приземной атмосфере на станциях мониторинга: максимальные значения концентрации озона наблюдаются весной (март – апрель), минимальные – осенью (сентябрь – октябрь). Средние концентрации озона в городских условиях (Иркутск) существенно ниже, чем на станциях Монды и Листвянка. Кратковременные колебания концентрации приземного озона в городских условиях зависят от содержания оксидов серы и азота антропогенного характера, в отличие от фоновых районов, где концентрации озона в течение года высокие. Содержание диоксидов серы и азота в городских и сельских районах значительно подвержено сезонным и межгодовым колебаниям в зависимости от температуры воздуха, изменяясь как в течение года (зимой – выше, летом – ниже), так и от года к году (в холодные годы – больше, в теплые – меньше). На станции Листвянка повышенное содержание анализируемых газов определяется и в теплый период года. Это связано с высокой рекреационной нагрузкой поселка как одной из самых больших туристических зон на Байкале в Иркутской области.

Ключевые слова: озон, газовые примеси, методы измерения, станции мониторинга, атмосфера.

Для цитирования: Хуриганова О. И., Оболкин В. А., Голобокова Л. П., Ходжер Т. В., Потемкин В. Л. Озон, оксиды серы и азота в приземной атмосфере на Байкальской природной территории // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 24. С. 111–123. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.111>

Введение

Около 10 % содержания общего озона в атмосфере приходится на тропосферный слой атмосферы. Тропосферный озон обладает рядом свойств, негативно влияющих на биоту Земли [Котельников, 2015; Актуальность проблемы тропосферного ... , 2015]. Эти свойства озона требуют детального исследования его пространственно-временной изменчивости и понимания механизмов генерации и деструкции в нижних слоях атмосферы (приземный, пограничный слои). В последнее время происходит повышение кон-

центрации тропосферного (приземного) озона, что вызывает пристальное внимание исследователей различных стран к его анализу [Akimoto, 2006; Increasing background ozone ... , 2000; Lin J.-T., Patten K. O., 2007; Eurasian continental background ... , 2004]. Источниками генерации тропосферного озона принято считать интрузию из стратосферы; фотохимические реакции с вовлечением газов-предшественников, таких как оксиды углерода и летучие органические соединения; образование при молниевых разрядах. В длительном временном масштабе причиной роста концентраций тропосферного озона считается общее увеличение загрязненности атмосферы. Стоку озона в пограничном слое способствуют такие факторы, как фотолиз, взаимодействие с газовыми компонентами за счет окислительных свойств (озонолиз), взаимодействие с аэрозолем, сухое осаждение и вымывание осадками [Белан, 2010].

Актуальности проблемы тропосферного озона и малых газовых составляющих (МГС) на территории Российской Федерации уделяется большое внимание [Актуальность проблемы тропосферного ... , 2015; Звягинцев, Какаджанова, Тарасова, 2010; Озон и окислы азота ... , 2011]. Активные наблюдения за содержанием озона и МГС в приземном и пограничном слоях атмосферы проводятся на территориях Западной [Белан, 2010; Белан, Савкин, Толмачев, 2017] и Восточной [Исследование процессов распространения ... , 2006; Измерения концентрации приземного ... , 2011; Regional background ozone ... , 2003] Сибири.

Также особое внимание уделяется исследованию Байкальской природной территории (БПТ), располагающейся на юге Восточной Сибири. БПТ включает в себя озеро Байкал – крупнейший резервуар пресной воды, объект Всемирного наследия ЮНЕСКО. В связи с этим важнейшей задачей является охрана оз. Байкал, воздушного бассейна озера и прилегающей территории.

На БПТ находятся крупные промышленные центры, загрязняющие атмосферу различными выбросами от ТЭЦ, работающих на угле; предприятия нефтехимии, металлургии, целлюлозно-бумажной промышленности и другие производства, автотранспорт являются источниками SO_2 и NO_x . Как и озон, диоксид серы и окислы азота в приземном слое атмосферы обладают рядом негативных свойств, влияющих на живые организмы, растения и материалы различной природы.

Целью данной статьи стал анализ результатов измерений озона и МГС на станциях мониторинга атмосферы БПТ с использованием различных методов и средств измерений. Полученные результаты могут быть полезны для верификации и совершенствования методов математического моделирования загрязнения атмосферы на БПТ.

Объекты и методы исследования

На БПТ измерение концентраций озона и МГС атмосферы проводилось на трех станциях мониторинга атмосферы, существенно различающихся как по физико-географическим условиям, так и по степени антропогенного влияния. Все станции входят в международную азиатскую сеть мониторинга EANET (East Asia Network for Acid Deposition Monitoring).

Станция Иркутск (52,3° с. ш.; 104,4° в. д.) – крупный промышленный город Восточной Сибири, испытывающий все виды антропогенной нагрузки.

Станция Листвянка (51,9° с. ш.; 104,7° в. д.) расположена на западном побережье оз. Байкал в 60 км на юго-восток от г. Иркутска и представляет сельские районы, испытывающие как локальное, так и периодическое влияние промышленных источников (в частности, Иркутска, Ангарска). В последние годы пос. Листвянка широко используется в целях отдыха и туризма.

Станция Монды (51,6° с. ш.; 101,0° в. д.) входит в сеть фоновых станций России, расположена в высокогорном районе (2005 м над у. м.), в верховьях р. Иркуты, и удалена от антропогенных источников на 200–300 км.

Отбор проб и измерения газов проводились по методике, принятой в международной сети EANET. Использовались три метода отбора газовых примесей: пассивный (диффузный), принудительный (прокачивание воздуха через импрегнированные фильтры) и прямой (автоматический анализ *in situ*).

Принцип работы пассивного пробоотборника заключается в накоплении загрязнителя в теле импрегнированного фильтра (табл. 1) путем химической или физической абсорбции.

Таблица 1

Поглотители для импрегнирования фильтров, определяемые ионы

Соединение	Поглотитель	Определяемый ион
SO ₂	10%-ный р-р триэтанолamina	SO ₄ ²⁻ ионная хроматография
O ₃	Смесь солей NONO ₂ +K ₂ CO ₃	NO ₃ ⁻ ионная хроматография
NO ₂	10%-ный р-р триэтанолamina	NO ₂ ⁻ ионная хроматография
NO _x	10%-ный р-р триэтанолamina+2-фенил-1-4,4,5,5-тетраметилимидазолин-3-оксид-1-оксил	NO ₂ ⁻ ионная хроматография

Экспозиция фильтра осуществлялась в течение двух недель. Фильтры после отбора проб озона вынимали из пробоотборника, помещали в пластиковые пробирки, которые плотно закрывали крышками. Экстракцию экспонированного на фильтре вещества выполняли бидистиллированной водой. Экстракт фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм и методом ионной хроматографии определяли соответствующий ион. Расчет газов проводили по формулам, приведенным ниже:

SO ₂ (ppbv) = = α _{SO2} · W _{SO2} / t	α _{SO2} = 39,4(293 / (273 + T)) ^{1,83}
NO (ppbv) = = α _{NO} · (W _{NOX} - W _{NO2}) / t	α _{NO} = 45,3(-0,046T + 219,94) / / (-0,439 · P · RH + 208,16)
NO ₂ (ppbv) = = α _{NO2} · W _{NO2} / t	α _{NO2} = 77,2(2,003T + 89,41) / (0,637 · P · RH + 131,47)
O ₃ (ppbv) = α _{O3} · W _{O3} / t	α _{O3} = 46,2 · 102 · (293 / (273 + T)) ^{1,83} / (9,94 ln t - 6,53)

Примечание. T – средняя температура за период экспозиции (°C); P – (2P_N / (P_T + P_N))^{2/3}; P_N – давление водяного пара при 20 °C (17,535 mmHg); P_T – давление водяного пара при средней температуре (mmHg); RH – относительная влажность (%); t – время экспозиции (мин).

Метод позволяет оценить интегральное содержание конкретного газа за весь промежуток отбора.

Принудительный метод осуществлялся согласно методике, разработанной в программе EANET (2003). Пробы отбирались на четыре типа фильтров. Первый, тефлоновый фильтр (PTFE) использовался для отбора аэрозольного вещества, свойства которого в данной работе не рассматриваются. Второй, нейлоновый (полиамидный) фильтр PALL ULTIPOR предназначен для адсорбции азотной кислоты и частично диоксида серы, хлористоводородной кислоты, аммиака. Третий, целлюлозный фильтр ADVANTEC 51A, пропитанный карбонатом калия, применяется для нейтрализации диоксида серы и хлористоводородной кислоты, прошедших через второй фильтр. Четвертый, целлюлозный фильтр (ADVANTEC 51A) пропитан фосфорной кислотой для нейтрализации аммиака, прошедшего через 2-й-3-й фильтры, динамика концентраций которого, как и аэрозольного вещества, в данной работе не приводится. Экстракты веществ со 2–3-го фильтров, аналогично пассивному методу, определялись методом ионной хроматографии (табл. 2).

Таблица 2

Спецификация фильтров при прокачивании воздуха через фильтродержатель

Фильтр	Процесс	Собранное вещество	Определяемый ион
Нейлоновый (полиамидный) фильтр	Адсорбция	HNO ₃ частично SO ₂	NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻
Целлюлозный фильтр, пропитанный K ₂ CO ₃	Нейтрализация	SO ₂	SO ₄ ²⁻

Анализ проб выполняли на ионном хроматографе ICS-3000 (Dionex, США) с последующим расчетом концентрации озона и газовых примесей согласно табл. 1. Качество выполняемых анализов подтверждалось участием в международном контроле качества данных по программам WMO (World Meteorological Organization), EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) и EANET.

Прямое измерение озона на станциях Монды и Листвянка проводилось оптическим озонометром Dylec Model 1007 – АНЈ (Япония) с временным разрешением 5 мин. Прямое измерение оксидов азота и серы осуществлялось только на станции Листвянка на газоанализаторах фирмы «ОПТЭК» Р-310-А и СВ-320-А (Россия). Используемые газоанализаторы ежегодно проходят поверку в Государственном региональном центре стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области (ФБУ «Тест – С.-Петербург»). Параллельно велась автоматическая регистрация интенсивности суммарной солнечной радиации (как одного из основных факторов фотохимического образования озона), атмосферного давления, влажности, направления и скорости ветра.

Результаты

Озон. При сравнении результатов 2015–2016 гг. с ранее полученными данными [Концентрации озона в приземном ... , 2015] на трех станциях мониторинга по данным пассивного и прямого измерений сезонный ход концентрации озона остается прежним: максимум весной, минимум осенью. Средние годовые концентрации приземного озона в городских условиях остаются более низкими по отношению к сельским и фоновым. В работах [Измерения концентрации приземного ... , 2011] были показаны основные причины весеннего максимума и осеннего минимума на станциях наблюдения.

При сравнении данных по содержанию озона на станции Листвянка за 2015 г. (рис. 1, а), полученных прямым и пассивным методами, отмечается их хорошее согласование (рис. 1, б) – коэффициент корреляции $r > 0,9$, что подтверждает достоверность результатов измерений двумя методами.

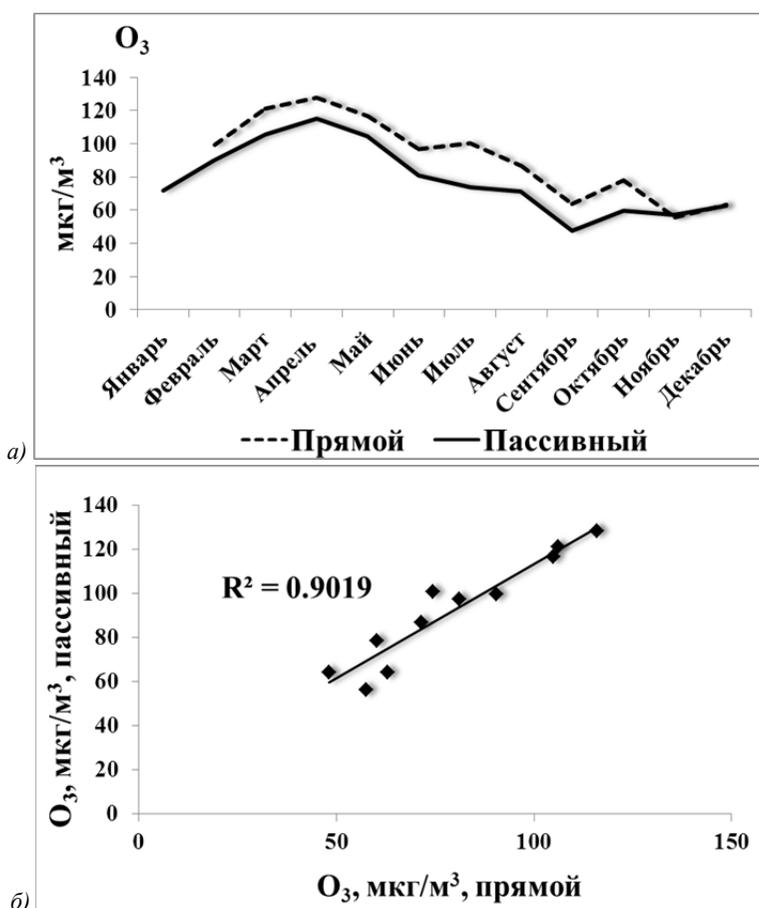


Рис. 1. Станция Листвянка, 2015 г.: а) сезонная динамика концентрации озона; б) корреляция данных пассивного и прямого методов измерения

На станции Монды связь между результатами, полученными пассивным и принудительным методами в 2015–2016 гг., оказалась чуть ниже – коэффициент корреляции $r > 0,7$.

Повышенные концентрации озона на фоновой станции Монды наблюдаются на протяжении всего года, в том числе и зимой. С одной стороны, это связано с опусканием озона в приземный слой из вышележащих слоев атмосферы, поскольку станция располагается достаточно высоко над уровнем моря, с другой – удаленностью от промышленных центров региона, в результате чего сток озона на протяжении всего года остается минимальным.

В городских условиях отмечен суточный ход содержания озона в приземной атмосфере, наиболее ярко выраженный в зимний период года. Возможной причиной повышенного стока озона в холодное время года является процесс окисления газов антропогенного характера, прежде всего оксидов азота. На рисунке 2 представлен фрагмент совместной автоматической регистрации концентрации озона и диоксида азота на станции Иркутск в январе 2015 г. Показано, что изменения концентраций этих газов находятся в противофазе: с повышением содержания двуоксида азота происходит резкое понижение озона.

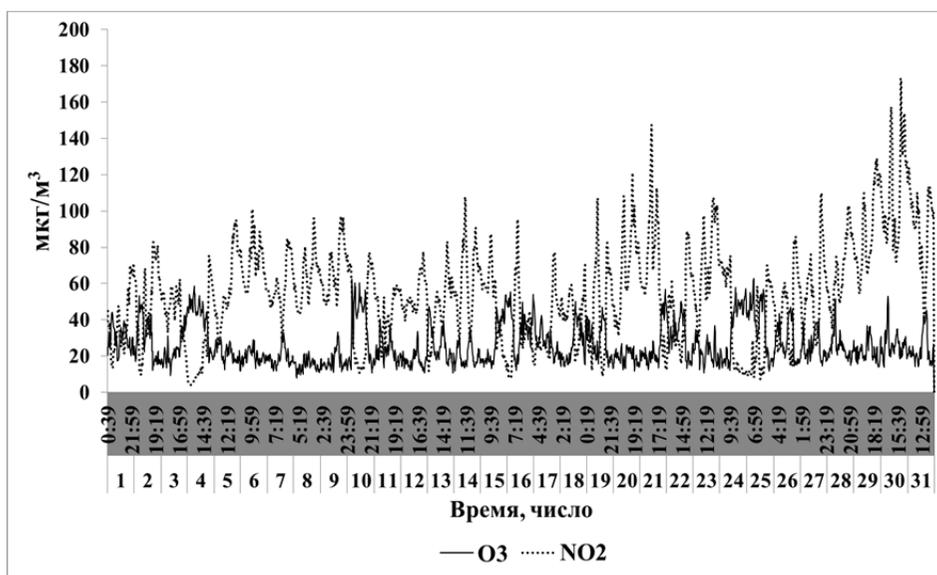


Рис. 2. Многосуточный ход содержания озона и NO₂ в г. Иркутск. Январь 2015 г.

Ранее нами отмечалось, что на станции Листвянка пониженные концентрации озона могут быть связаны с переносами обедненных озоном воздушных масс на Южный Байкал со стороны промышленных центров – Иркутска и Ангарска (70–100 км от Листвянки). Происходят они обычно в ночные и утренние часы с так называемыми струйными течениями низкого уровня, которые формируются в инверсионных слоях атмосферы на высотах 200–500 м.

Диоксиды серы и азота. В приземном слое атмосферы существует ряд природных источников оксидов азота и серы [Белан, Савкин, Толмачев, 2006; Звягинцев, Какаджанова, Тарасова, 2010]. Однако в последние десятилетия на первое место выходят антропогенные источники поступления этих газов в атмосферу, к ним относятся крупные тепловые электростанции, предприятия промышленности, оксиды азота и серы поступают в воздух в результате сжигания топлива, мусора, от транспорта [Contributions to cities' ... , 2015; Kelly, Fussell, 2012; Vu, Delgado-Saborit, Harrison, 2015]. Транспорт становится основным источником загрязнения атмосферы во многих регионах мира, например Индии, Юго-Восточной Азии, Юго-Восточной Европы, Южной Азии, Бразилии, Южной Америки [Contributions to cities' ... , 2015; Sahu, Beig, Parkhi, 2014]. В частности, в Иркутске за период с 2000 по 2014 г. количество единиц автотранспорта выросло более чем на 80 %*.

Как показали измерения SO_2 , на станции Иркутск прослеживается четкая сезонная динамика концентраций этого газа с максимальными значениями в холодный и минимальными – в теплый периоды года (рис. 3, а). Отмечена высокая корреляция между данными, полученными в результате пассивного и принудительного методов отбора проб ($r > 0,8$) (рис. 3, б).

Оксиды азота являются компонентами озоновых циклов, влияют на динамику озонового слоя, а также играют ключевую роль в образовании фотохимического «смога». В силу этого обстоятельства загрязнение атмосферы оксидами азота оказывает как локальное, так и глобальное воздействие на состояние окружающей среды. NO_2 является вторичной примесью, которая образуется в результате фотохимических реакций, происходящих в атмосфере, и относится к активным соединениям азота, время жизни которых в атмосфере мало.

Концентрации диоксидов серы и азота в городских и сельских районах значительно подвержены сезонным и межгодовым колебаниям в зависимости от температуры воздуха. В городах Сибири объемы сжигаемого топлива существенно зависят от внешних условий, меняясь как в течение года (зимой – больше, летом – меньше), так и от года к году (в холодные годы – больше, в теплые – меньше). Зависимость содержания диоксида серы и азота от температуры показана на рис. 4.

На станции Иркутск содержание оксидов азота в приземном слое воздуха высокое, что объясняется высокой антропогенной нагрузкой на атмосферу в городе с населением более 600 тыс. человек. На станции Листвянка содержание анализируемых газов в два раза ниже, чем в г. Иркутске, и носит преимущественно локальный характер, хотя повышенные значения определяются и в теплый период года. Это связано с высокой рекреационной нагрузкой поселка как одной из самых больших туристических зон на Байкале в Иркутской области.

* Краткий статистический справочник. Иркутская область. Иркутск : Иркутскстат, 2016. 59 с.

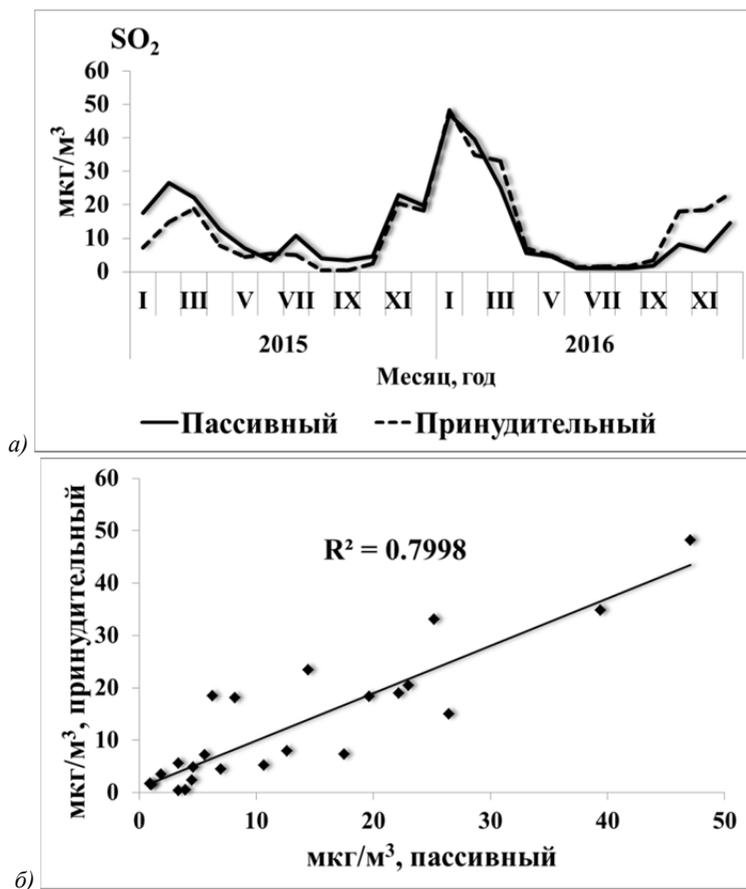


Рис. 3. Станция Иркутск, 2015–2016 гг.: а) внутригодовая динамика содержания SO₂; б) корреляция данных пассивного и принудительного методов измерения

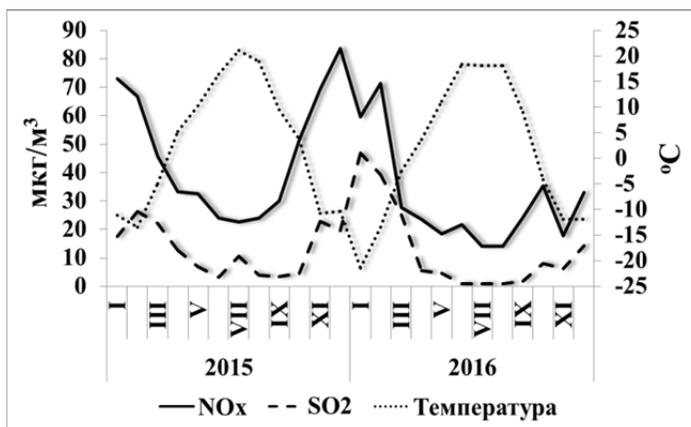


Рис. 4. Зависимость содержания диоксидов серы и окислов азота от температуры воздуха на станции Иркутск, 2015–2016 гг. (метод пассивного измерения газов)

Согласно рис. 4 прослеживается четкая сезонная динамика концентраций SO_2 и NO_x с максимумом в декабре – феврале и минимумом в июне – августе. В данной интерпретации результатов измерений оксиды азота NO_x представляют собой сумму соединений NO и NO_2 .

Заключение

Исследования динамики концентраций озона в тропосферном слое БПТ (2015–2016 гг.) дополнены результатами наблюдений за состоянием МГС с использованием различных методов и средств измерений. Результаты исследований подтвердили выявленные ранее тенденции годового хода в распределении озона в приземной атмосфере на всех станциях мониторинга. Средние концентрации озона в городских условиях (Иркутск) существенно ниже, чем на станциях Монды и Листвянка. Кратковременные колебания концентрации озона зависят не только от фотохимической его генерации под воздействием солнечной радиации днем и частичного разрушения в ночные часы, но и от содержания оксидов серы и азота антропогенного характера в приземном слое атмосферы. Прослеживается сезонная динамика концентраций SO_2 и NO_x в атмосфере Листвянки и Иркутска, связанная с выбросами предприятий теплоэнергетики, повышением концентраций МГС в холодные периоды года и понижением – в теплые. Станция Монды остается фоновой станцией атмосферы на азиатской территории РФ, где источники и сезонная динамика анализируемых газов в приземной атмосфере обусловлены в основном природными процессами. Показана хорошая сходимость результатов измерений озона и МГС, отобранных разными методами. Выявлена высокая корреляция данных при отборе проб озона прямым и пассивным методами и результатов измерений диоксида серы пассивным и принудительным методами. Это позволяет использовать пассивный, более дешевый, не требующий внешнего источника питания и универсальный метод отбора проб в труднодоступных и удаленных районах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гос. задания 0345-2016-0008 «Оценка и прогноз экологического состояния озера Байкал и сопряженных территорий в условиях антропогенного воздействия и изменения климата». Работы выполнялись также в рамках международной программы EANET. Аналитические работы выполнены в Приборном центре коллективного пользования физико-химического ультрамикрoанализа ЛИИ СО РАН.

Список литературы

- Актуальность проблемы тропосферного озона в России / С. Н. Котельников, Е. В. Степанов, И. А. Щербаков, В. Т. Ивашкин ; Рос. акад. Наук // Тр. ин-та общ. физики им. А. М. Прохорова. 2015. Т. 71. С. 3–9.
- Белан Б.Д. Озон в тропосфере / под ред. В.А. Погодаева. Томск : Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2010. 488 с.
- Белан Б. Д., Савкин Д. Е., Толмачев Г. Н. Зависимость образования озона в приземном слое от температуры воздуха // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 11. С. 971–979. DOI: 10.15372/AOO20171110.

Звягинцев А. М., Какаджанова Г., Тарасова О. А. Изменчивость приземного озона и других малых газовых составляющих атмосферы в мегаполисе и сельской местности // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, № 1. С. 32–37.

Измерения концентрации приземного озона пассивным методом / А. А. Холявицкая, В. Л. Потёмкин, Л. П. Голобокова, Т. В. Ходжер // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 9. С. 828–831.

Исследование процессов распространения диоксида серы и озона на юге Восточной Сибири / В. Л. Потемкин, И. В. Латышева, В. Л. Макухин, Т. В. Ходжер // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19, № 7. С. 567–569.

Концентрации озона в приземном слое тропосферы в урбанизированных, сельских и фоновых районах юга Восточной Сибири / О. И. Хуриганова, В. А. Оболкин, В. Л. Потемкин, Т. В. Ходжер, О. В. Артемьева, Л. П. Голобокова // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 6. С. 579–584. DOI: 10.15372/AOO20150614.

Котельников С. Н. Основные механизмы взаимодействия озона с живыми системами и особенностями проблемы приземного озона для России // Рос. акад. наук. Тр. ин-та общ. физики им. А. М. Прохорова. 2015. Т. 71. С. 10–41.

Озон и окислы азота в приземном воздухе Северной Евразии по наблюдениям в экспериментах TROICA / Н. В. Панкратова, Н. Ф. Еланский, И. Б. Беликов, О. В. Лаврова, А. И. Скороход, Р. А. Шумский // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47, № 3. С. 343–358.

Akimoto H. Tropospheric ozone a growing threat. Japan, Niigata : Acid deposition and oxidant research center Publ., 2006. 26 p.

Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level / F. Karagulian, C. A. Belis, C. F. C. Dora, A. M. Prüss-Ustün, S. Bonjour, H. Adair-Rohani, M. Amann // Atmos. Environ. 2015. Vol. 120. P. 475–483. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.087.

Kelly F. J., Fussell J. C. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter // Atmos. Environ. 2012. Vol. 60. P. 504–526. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2012.06.039.

Increasing background ozone in surface air over the United States / C. C.-Y. Lin, D. J. Jacob, W. Munger, A. M. Fiore // Geophys. Res. Lett. 2000. Vol. 27(21). P. 3465–3468.

Lin J.-T., Patten K. O. Effects of Future Climate and Biogenic Emissions Changes on Surface Ozone over the United States and China // J. Appl. Meteorol. Climatol. 2007. Vol. 47. P. 1888–1909. DOI: 10.1175/2007JAMC1681.

Regional background ozone and carbon monoxide variations in remote Siberia (East Asia) / P. Pochanart, H. Akimoto, Y. Kajii, V. Potemkin, T. Khodzher // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108(1). P. ACH. 7-1–7-18. DOI: 10.1029/2001JD001412.

Eurasian continental background and regionally polluted levels of ozone and CO observed in northeast Asia / P. Pochanart, S. Kato, T. Katsuno, H. Akimoto // Atmos. Environ. 2004. Vol. 38(9). P. 1325–1336. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2003.11.014.

Sahu S. K., Beig G., Parkhi N. Critical Emissions from the Largest On-Road Transport Network in South Asia // Aerosol and Air Qual. Res. 2014. P. 135–144. DOI: 10.4209/aaqr.2013.04.0137.

Vu T. V., Delgado-Saborit J. M., Harrison R. M. Review: Particle number size distributions from seven major sources and implications for source apportionment studies // Atmos. Environ. 2015. Vol. 122. P. 114–132. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.09.027.

Ozone and Oxides of Sulfur and Nitrogen in the Near-Surface Atmosphere above the Baikal Natural Territory

O. I. Khuriganova, V. A. Obolkin, V. L. Potemkin,
L. P. Golobokova, T. V. Khodzher

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk

Abstract. Spatial and time dynamics of concentrations of the major gaseous impurities (O_3 , SO_2 and NO_x) were studied in 2015-2016 at three monitoring sites located on the Baikal Natural Territory (BNT) in the south of East Siberia. The authors used passive (diffusive), forced (filtration) and direct (gas analyzers) methods in the investigations with the correlation of 0.7 and higher.

The results obtained confirmed patterns of annual trends in the ozone distribution in the near-surface atmosphere at monitoring sites: maximal concentrations in spring (March-April) and minimal values in autumn (September-October). Mean concentrations of ozone were substantially lower at the urban site Irkutsk than at background site Mondy and rural site Listvyanka. Short-term fluctuations of ozone concentrations under urban conditions depended on the concentrations of sulfur and nitrogen oxides of anthropogenic character contrary to the background areas, where ozone concentrations were high during a year. The concentrations of sulfur and nitrogen dioxide in the urban and rural areas subjected significantly to seasonal and inter-annual fluctuations depending on air temperature varying during a year (in winter they were higher and in summer lower) and from year to year (in cold years higher and in warm years lower). At the site Listvyanka, the elevated concentrations of these gases were also recorded in the warm period. This is attributed to high recreational load of the settlement of Listvyanka as one of the largest tourist areas at Lake Baikal in the Irkutsk region.

Keywords: ozone, gas impurities, measurement methods, monitoring sites, atmosphere

For citation: Khuriganova O. I., Obolkin V. A., Potemkin V. L., Golobokova L. P., Khodzher T. V. Ozone and Oxides of Sulfur and Nitrogen in the Near-Surface Atmosphere above the Baikal Natural Territory. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2018, vol. 24, pp. 111-123. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.111>. (in Russian)

References

Kotel'nikov S.N., Stepanov E.V., Shherbakov I.A., Ivashkin V.T. Aktualnost problemy troposfernogo ozona v Rossii [An importance of the tropospheric ozone problem for Russia]. *Rossijskaja Akademija Nauk. Trudy instituta obshhej fiziki im. A.M. Prohorova* [Prokhorov General Physics Institute of RAS], 2015, vol. 71, pp. 3-9. (in Russian).

Belan B.D. *Ozon v troposfere* [Ozone in the troposphere]. Tomsk, Institute of atmospheric optics SB RAS Publ., 2010, 488 p. (in Russian).

Belan B.D., Savkin D.E., Tolmachev G.N. Zavisimost obrazovaniya ozona v prizemnom sloe ot temperatury vozduha [Generation of ozone in the surface air layer versus air temperature]. *Optika atmosf. i okeana* [Atmospheric and oceanic optics], 2017, vol. 30, no. 11, pp. 971-979. DOI: 10.15372/AOO20171110. (in Russian).

Zvjaginev A.M., Kakadzhanova G., Tarasova O.A. Izmenchivost' prizemnogo ozona i drugih malyh gazovyh sostavljajushih atmosfery v megapolise i sel'skoj mestnosti [Cycles of surface ozone and other trace gases in urban and rural regions]. *Optika atmosf. i okeana* [Atmospheric and oceanic optics], 2010, vol. 23, no. 1, pp. 32-37. (in Russian).

Holjavickaja A.A., Potjomkin V.L., Golobokova L.P., Hodzher T.V. Izmereniya koncentracii prizemnogo ozona passivnym metodom [Testing of the passive method for measuring ozone concentrations in the atmospheric surface layer (Mondy station, East Siberia)]. *Optika atmosf. i okeana* [Atmospheric and oceanic optics], 2011, vol. 24, no. 9, pp. 828-831. (in Russian).

Potemkin V.L., Latysheva I.V., Makuhin V.L., Hodzher T.V. Issledovanie processov rasprostraneniya dioksida sery i ozona na jube Vostochnoj Sibiri [Studies of the dispersal of sulfur dioxide and ozone in the south of Eastern Siberia]. *Optika atmosf. i okeana* [Atmospheric and oceanic optics], 2006, vol. 19, no. 7, pp. 567-569. (in Russian).

Huriganova O.I., Obolkin V.A., Potemkin V.L., Hodzher T.V., Artem'eva O.V., Golobokova L.P. Koncentracii ozona v prizemnom sloe troposfery v urbanizirovannyh, sel'skih i fonovyh rajonah juga Vostochnoj Sibiri [Ozone concentration in the ground atmospheric layer in urban, rural, and background areas of the south of Eastern Siberia]. *Optika atmosf. i okeana* [Atmospheric and oceanic optics], 2015, vol. 28, no. 6, pp. 579-584. DOI: 10.15372/AOO20150614. (in Russian).

Kotel'nikov S.N. Osnovnye mehanizmy vzaimodejstvija ozona s zhivymi sistemami i osobennostjami problemy prizemnogo ozona dlya Rossii [The basic mechanisms of interaction of ozone with live systems and features of a problem of ground ozone for Russia]. *Rossijskaja Akademija*

Nauk. Trudy instituta obshhej fiziki im. A.M. Prohorova [Prokhorov General Physics Institute of RAS], 2015, vol. 71, pp. 10-41. (in Russian).

Pankratova N.V., Elanskij N.F., Belikov I.B., Lavrova O.V., Skorohod A.I., Shumskij R.A. Ozon i oksily azota v prizemnom vozduhe Severnoj Evrazii po nabljudenijam v jeksperimentah TROICA [Ozone and Nitric Oxides in the Surface Air over Northern Eurasia According to Observational Data Obtained in TROICA Experiments]. *Izvestija RAN. Fizika atmosfery i okeana* [Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics]. 2011, vol. 47, no. 3, pp. 343-358. (in Russian).

Akimoto H. *Tropospheric Ozone a Growing Threat*. Japan, Niigata, Acid deposition and oxidant research center Publ., 2006, 26 p.

Karagulian F., Belis C.A., Dora C.F.C., Prüss-Ustün A.M., Bonjour S., Adair-Rohani H., Amann M. Contributions to Cities' Ambient Particulate Matter (PM): A Systematic Review of Local Source Contributions at Global Level. *Atmos. Environ*, 2015, vol. 120, pp. 475-483. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.087.

Kelly F.J., Fussell J.C. Size, Source and Chemical Composition as Determinants of Toxicity Attributable to Ambient Particulate Matter. *Atmos. Environ*, 2012, vol. 60, pp. 504-526. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2012.06.039.

Lin C.C.-Y., Jacob D.J., Munger W., Fiore A.M. Increasing Background Ozone in Surface air Over the United States. *Geophys. Res. Lett*, 2000, vol. 27(21), pp. 3465-3468.

Lin J.-T., Patten K.O. Effects of Future Climate and Biogenic Emissions Changes on Surface Ozone over the United States and China. *J. Appl. Meteorol. Climatol*, 2007, vol. 47, pp. 1888-1909. DOI: 10.1175/2007JAMC1681.1.

Pochanart P., Akimoto H., Kajii Y., Potemkin V., Khodzher T. Regional Background Ozone and Carbon Monoxide Variations in Remote Siberia (East Asia). *J. Geophys. Res*, 2003, vol. 108(1), pp. ACH. 7-1-7-18. DOI: 10.1029/2001JD001412.

Pochanart P., Kato S., Katsuno T., Akimoto H. Eurasian Continental Background and Regionally Polluted Levels of Ozone and CO Observed in Northeast Asia. *Atmos. Environ*, 2004, vol. 38(9), pp. 1325-1336. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2003.11.014.

Sahu S.K., Beig G., Parkhi N. Critical Emissions from the Largest On-Road Transport Network in South Asia. *Aerosol and Air Qual Res*, 2014, pp. 135-144. DOI: 10.4209/aaqr.2013.04.0137.

Vu T.V., Delgado-Saborit J.M., Harrison R.M. Review: Particle Number Size Distributions from Seven Major Sources and Implications for Source Apportionment Studies. *Atmos. Environ*, 2015, vol. 122, pp. 114-132. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.09.027.

Хуриганова Ольга Иннокентьевна
кандидат химических наук,
научный сотрудник
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952)42-47-70
e-mail: Khuriganowa@lin.irk.ru

Khuriganova Ol'ga Innokent'evna
Candidate of Sciences (Chemical),
Researcher
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russian
Federation
tel.: (3952)42-47-70
e-mail: Khuriganowa@lin.irk.ru

Оболкин Владимир Аркадьевич
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952)42-82-20
e-mail: Obolkin@lin.irk.ru

Obolkin Vladimir Arkad'evich
Candidate of Sciences (Geography),
Senior Researcher
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952)42-82-20
e-mail: Obolkin@lin.irk.ru

Голобокова Людмила Петровна
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Golobokova Ljudmila Petrovna
Candidate of Sciences (Technical),
Senior Researcher

*Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952)42-47-70
e-mail: Lg@lin.irk.ru*

*Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952)42-47-70
e-mail: Lg@lin.irk.ru*

*Ходжер Тамара Викторовна
доктор географических наук, профессор,
заведующий лабораторией гидрохимии и
химии атмосферы
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952)42-65-02
e-mail: Khodzher@lin.irk.ru*

*Khodzher Tamara Victorovna
Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of Laboratory of Hydrochemistry and
Atmosphere Chemistry
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952)42-65-02
e-mail: Khodzher@lin.irk.ru*

*Потемкин Владимир Львович
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952)42-65-02
e-mail: klimat@lin.irk.ru*

*Potemkin Vladimir L'vovich
Candidate of Sciences (Geography),
Senior Researcher
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952)42-65-02
e-mail: klimat@lin.irk.ru*