

КАРБОНОВЫЕ ПОЛИГОНЫ ИОА СО РАН ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ. ЧАСТЬ I

В.В. Антонович¹, О.Ю. Антохина¹, П.Н. Антохин¹, В.Г. Аршинова¹, М.Ю. Аршинов¹, Б.Д. Белан¹, С.Б. Белан¹, Д.К. Давыдов¹, Г.А. Ивлев¹, А.В. Козлов¹, Ш.Ш. Максютлов², Т. Мачида², Д.А. Пестунов¹, И.В. Пташник¹, Т.М. Рассказчикова¹, Д.Е. Савкин¹, Сасакава², Д.В. Симоненков¹, Т.К. Складнева¹, Г.Н. Толмачев¹, А.В. Фофонов¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, РФ

²Национальный институту исследования окружающей среды, Тсукуба, Япония

E-mail: bbd@iao.ru

Наблюдающееся в настоящее время глобальное изменение климата и окружающей среды, которое связывают с ростом концентрации парниковых газов, требует организации контроля за их содержанием в атмосфере. В первой части работы описана история создания и развития наблюдательной сети постов контроля концентрации парниковых газов в РФ. Более подробно охарактеризована мониторинговая система ИОА СО РАН, развернутая на территории Западной Сибири. Она включает в себя 3 поста комплексного мониторинга состава воздуха и 2 стационара для измерения потоков парниковых газов на границе «почва-атмосфера».

Ключевые слова: атмосфера, закись азота, концентрация, метан, мониторинг, обсерватория, парниковые газы, пост, станция, углекислый газ.

Поступила в редакцию 24.08.2022. После доработки: 09.12.2022.

Введение. Атмосфера является главной частью окружающей среды, состояние которой в сильной степени определяет жизнь на Земле. Она тесно взаимодействует с биосферой, гидросферой, криосферой и литосферой, а также с городскими территориями на временных масштабах от секунд до тысячелетий. Изменения в одном из этих компонентов прямо или косвенно передаются другим через запутанные сложные процессы и обратные связи. Современные изменения в атмосфере, отражающиеся в потеплении климата, обусловлены в первую очередь ростом концентрации парниковых газов, аэрозолей и сажи. Следовательно, для более надежного прогнозирования климата необходимы максимально точные данные о распределении концентрации парниковых газов и тенденции их изменения, как в целом по земному шару, так и для отдельных регионов.

К середине прошлого столетия стало очевидным, что одних только регулярных метеорологических наблюдений недостаточно для оценки качества воздуха, а так называемый лос-анджелесский

смог привел к пониманию того, что необходим и мониторинг состава атмосферы, особенно, в мегаполисах. В 50-х годах XX века Всемирная метеорологическая организация (ВМО) приняла решение о запуске программы по химии атмосферы, метеорологическим аспектам загрязнения воздуха с целью перехода от разрозненных нерегулярных наблюдений к непрерывному мониторингу [1]. Начинаясь она, прежде всего, с создания наблюдательной сети за общим содержанием озона, задерживающего опасное для всего живого жесткое ультрафиолетовое солнечное излучение, и являющегося одним из самых токсичных газов.

Примерно в то же время, независимо от этой программы, Ч.Д. Килингом были начаты систематические измерения концентрации углекислого газа в обсерватории Мауна-Лоа и в Антарктиде. Уже в 1960 году он забил тревогу о росте содержания CO₂ в атмосфере и необходимости снижения антропогенных выбросов, показав, что скорость роста концентрации CO₂ на Южном полюсе соответствует количеству ископаемого топлива,

сжигаемого во всем мире за год [2]. На тот момент к работе Килинга не было проявлено должного интереса, и связанный с этим недостаток финансирования даже привел к временной приостановке измерений в 1964 г. [3]. Признание пришло гораздо позже (в начале 1970-х), после чего график многолетней изменчивости концентрации CO_2 стал носить его имя (Keeling curve).

К 1980-м годам всеобщее осознание проблем, связанных с изменением климата и ухудшением качества воздуха, привело к решению ВМО о создании в 1989 г. Глобальной службы атмосферы (ГСА), (Global Atmosphere Watch – GAW). Одной из целей которой является организация систематических наблюдений за химическим составом и связанными с ним физическими характеристиками атмосферы [1]. Для обеспечения высокого качества результатов интерпретации данных наблюдений как в глобальном, так и в региональном масштабе, ВМО постоянно устанавливает все более жесткие требования к точности измерения, прежде всего концентрации основных парниковых газов [4] и метеорологических величин [5]. В связи с этим, возникает необходимость постоянной модернизации оборудования и датчиков, устанавливаемых на наблюдательной сети. При этом для совместимости новых рядов наблюдений с полученными ранее, рекомендуется в течение нескольких лет проводить параллельные измерения, как приборами предыдущего поколения, так и новыми. Сеть станций ГСА ВМО состоит из 31 станции глобального уровня и более 400 станций регионального уровня [6]. Большинство станций обоих уровней содержатся за счет средств национальных агентств, метеорологических служб или научно-исследовательских организаций. Также в наблюдательную сеть ГСА вносят свой вклад еще около 100 станций, входящих в другие наблюдательные сети такие как: TCCON [7], EARLINET [8], AD-Net [9], LALINE [10], MPLNET [11], CASTNET [12] и IAGOS [13]. Подобные сети были

созданы в США [14–16], Канаде [17], Европе [18–22].

Карбоновые полигоны. На территории РФ эта проблема усугубляется почти полным отсутствием таких данных. Согласно докладу Росгидромета [23], анализ изменчивости концентрации парниковых газов в приземном слое атмосферы выполняется на четырех станциях наблюдений, входящих в Глобальную службу атмосферы (ГСА) ВМО. Станции Териберка (Кольский полуостров, побережье Баренцева моря) и станция Тикси (Арктическое побережье, море Лаптевых, залив Сого) расположены в условиях, близких к фоновым. Новый Порт (полуостров Ямал, берег Обской губы) и Воейково (пригород Санкт-Петербурга) находятся в районах крупномасштабных антропогенных источников парниковых газов. Таким образом, на всю огромную страну приходится только 2 фоновые государственные станции. Можно еще отметить обсерваторию ZOTTO, созданную в рамках международных проектов. Она находится в лесном массиве в 20 км западнее с. Зотино Красноярского края. На ее территории была установлена вантовая мачта высотой 301 м. Пробоотбор воздуха для газоанализа осуществляется с 6 уровней: 301, 227, 158, 92, 52, и 4 м [24]. В первые годы после запуска в эксплуатацию станции измерения парниковых газов осуществлялись с помощью газового хроматографа, который позднее был заменен на газоанализатор фирмы Picarro Model EnviroSense 3000i (более позднее наименование – G1301). Помимо измерений малых газовых составляющих, в обсерватории ZOTTO также имеется оборудование для проведения непрерывных измерений микрофизических и оптических характеристик аэрозолей, отбираемых с нескольких уровней. В дополнение к наблюдениям за потоками парниковых газов, выполняемым по градиентной методике на 301-метровой мачте, в окрестностях обсерватории организованы измерения потоков методом вихревой ковариации (eddy covariance) с использованием мачт меньшей высоты. Одна из измерительных площадок располагается в сосновом

лесу в 900 м северо-северо-восточнее от основной мачты, а вторая – на болоте в 3 км северо-восточнее от нее [25]. Обе площадки оснащены газоанализаторами CO₂ LI-7200 и ультразвуковыми 3-D анемометрами USA-1 фирмы МЕТЕК. Измерительный комплекс, расположенный на болоте дополнительно оснащен быстродействующим газоанализатором Picarro Model G2301-f.

При отсутствии централизованного финансирования ряд организаций РФ начал создавать подобные пункты мониторинга в инициативном порядке или в рамках международных проектов. Одной из таких организаций является Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (ИОА СО РАН), создавший несколько стационарных и передвижных

пунктов. В первой части работы дается их подробное описание. Результаты мониторинговых измерений концентрации парниковых газов приводятся во второй части статьи.

TOR-станция. Исторически первой (в декабре 1992 года) была создана TOR-станция в рамках международного проекта по исследованию тропосферного озона TOR (Tropospheric Ozone Research) европейской программы EUROTRAC. Она работает и в настоящее время. Она находится на северо-восточной окраине Томского Академгородка. Имеет координаты: 56°28'41" с.ш., 85°03'15" в.д. Высота над уровнем 133 м. Структурная схема станции приведена на рис.1, технические характеристики в табл.1. Полное описание дано в [26].

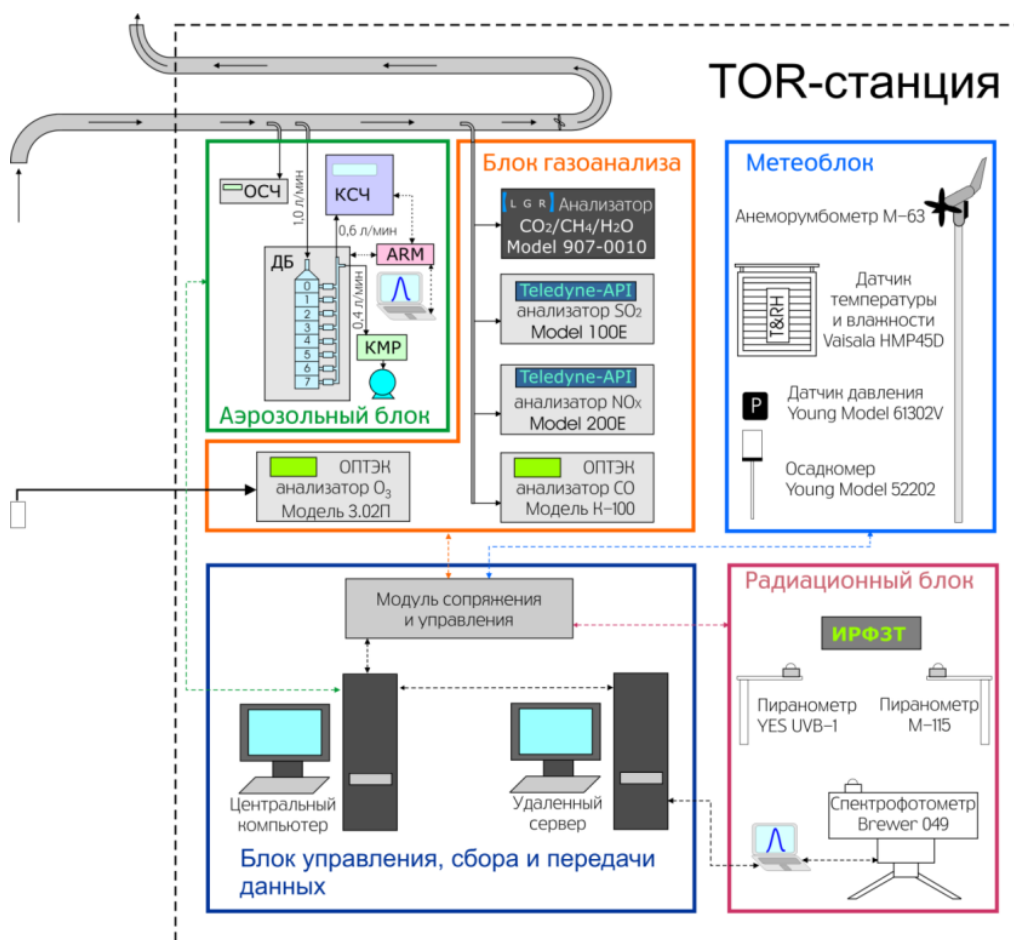


Рис. 1. Структурная схема TOR-станции
 Fig. 1. Structural diagram of a TOR-station

Таблица 1. Технические характеристики оборудования TOR-станции

Блок	Прибор/датчик	Измеряемый параметр	Диапазон	Погрешность	Начало ряда
Метеоблок	Vaisala HMP45D	t, °C U, %	-40...+60 0...100	±0,2 °C ±2%	1992
	M-63	dd, град V, м/с	0...360 1,2...40	±10° ±(0,5+0,05 V)	1992
	Young Model 61302	P, гПа.	150...1150	±0,3 гПа	2002
	Young Model 52202	Интенсивность и количество осадков	0...50 мм/ч	±2% (<25 мм/ч) ±3% (>25 мм/ч)	2012
Блок газоанализа	LGR FGGA Model 907-0010	CO ₂ , млн ⁻¹ CH ₄ , млн ⁻¹ H ₂ O, млн ⁻¹	20...10000 0 0,005...50 150...70000	±0,2 млн ⁻¹ ±0,001 млн ⁻¹ ±100 млн ⁻¹	2012
	ОПТЭК 3.02-П	O ₃ , мкг/м ³	0...500	± 20%	1993
	Teledyne API 200E	NO/NO ₂ , млн ⁻¹	0...20	± 0,5%	2008
	ОПТЭК К-100	CO, мкг/м ³	0...50	± 20%	2002
	Teledyne API 100E	SO ₂ , млн ⁻¹	0...20	± 0,5%	2012
Аэрозольный блок	GRIMM #1.109	D _p , мкм (31 канал) N, см ⁻³	0,25...32 0...2000	– ± 3%	2010
	Диффузионный спектрометр аэрозоля	D _p , нм (20 каналов) N, см ⁻³	3...200 0...500000	– ± 10%	2010
Радиационный блок	M-115	λ, мкм Q, Вт/м ²	0,3...2,4 0...1500	± 10%	1995
	YES UVB-1	λ, нм I, Вт/м ²	280...320 0...2,5	– < 5%	2002
	Brewer 049	λ, нм I, Вт/м ²	290...325 –	– –	2012-2017
	ИРФЗТ	γ-фон, мкР/ч	1...1000	±30%	1993

Обсерватория «Фоновая». Расположена на восточном берегу реки Оби, в 60 км к западу от Томска. Имеет координаты 56°25'07" с.ш., 84°04'27" в.д. Высота над уровнем моря 80 м. Территория окружена смешанным лесом (березы, осины и сосны обыкновенные). Большая площадь между станцией и городом Томском покрыта хвойными деревьями. Крупных промышленных объектов вблизи обсерватории не имеется.

На рис. 2 приведено схематическое изображение аппаратного помещения и

мачты с указанием высот, на которых установлены метеорологические датчики и заборники воздуха. Для более точного определения стратификации атмосферы метеорологические датчики установлены на четырех уровнях. Расположение заборников малых газовых составляющих на двух уровнях позволяет определять не только концентрации газов, но и выявлять вертикальные градиенты концентраций, отражающие влияние отдаленных и локальных источников.



Рис. 2. Изображение мачты и аппаратного помещения Обсерватории «Фоновая»
Fig. 2. Image of the mast and the hardware room of the Observatory "Fonovaya"

Структурная схема Обсерватории «Фоновая» приведена на рис. 3. Технические характеристики собраны в табл. 2. Полное описание станции дано в [27].

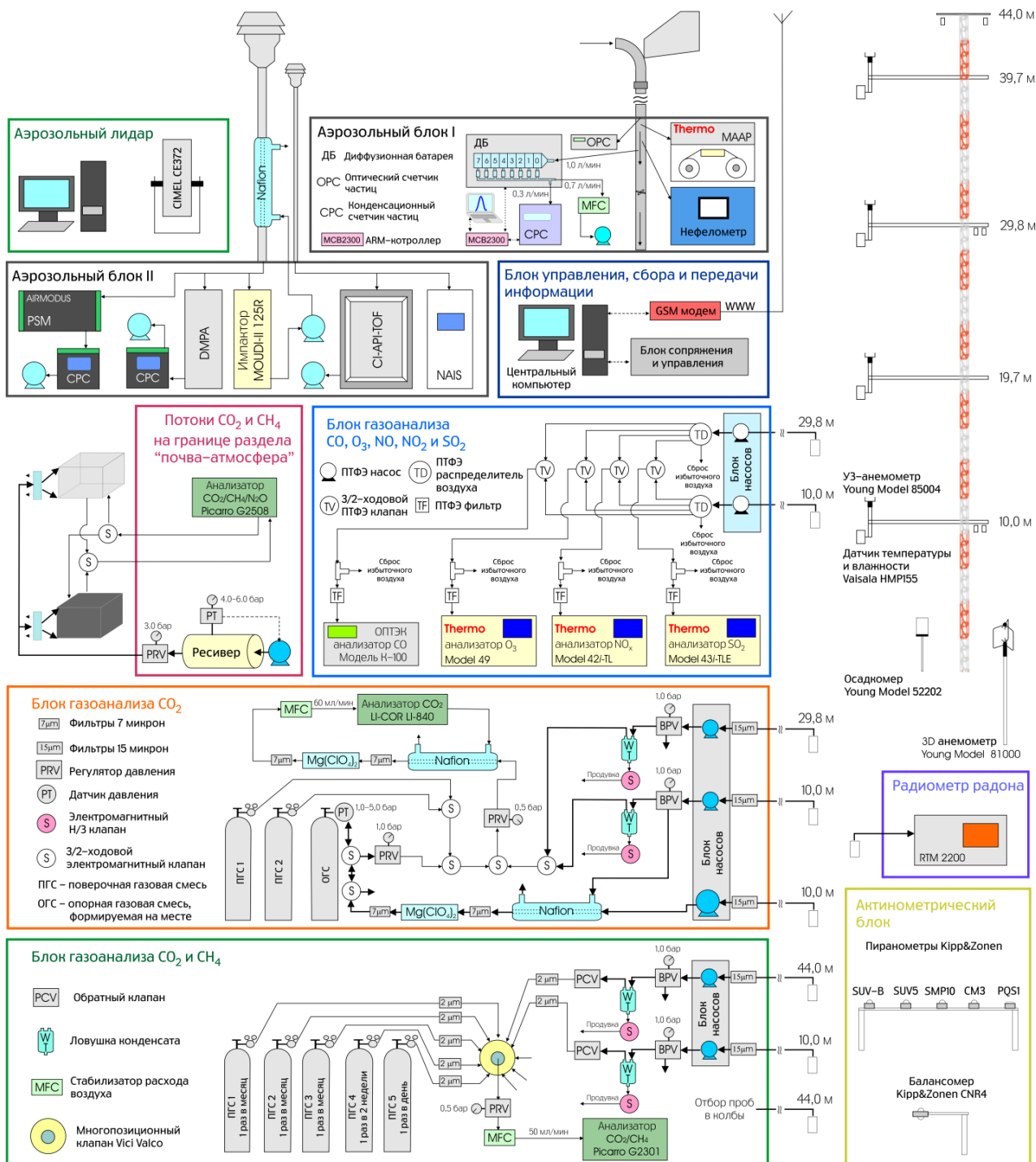


Рис. 3. Структурная схема Обсерватории «Фоновая»
 Fig. 3. Block diagram of the Observatory "Fonovaya"

Таблица 2. Технические характеристики Обсерватории «Фоновая»

Блок	Прибор/датчик	Измеряемый параметр	Диапазон	Погрешность	Начало ряда
Метеоблок	Vaisala HMP155	t, °C U, %	-80...+60 0...100	±0,12 °C ±1%	2015
	Young Model 85004	dd, град V, м/с	0...360 0...70	±1° ±0,1 м/с	2015
	Young Model 81000	U, V, W, м/с	0...40	±0,05 м/с	2020
	Young Model 61302	P, гПа	150...1150	±0,3 гПа	2015
	Young Model 52202	Интенсивность и количество осадков	0...50 мм/ч	±2% (<25 мм/ч), ±3% (>25 мм/ч)	2012
	«АПИК»	t почвы, °C Глубины, см	-55...125 0...320	±0,01	2020
Блок газо-анализа	Picarro G2301-m	CO ₂ , млн ⁻¹ CH ₄ , млн ⁻¹ H ₂ O, млн ⁻¹	0...1000 0...20 0...70000	< 0,2 млн ⁻¹ <0,0015 млн ⁻¹ < 150 млн ⁻¹	2016
	LI-COR LI-840	CO ₂ , млн ⁻¹	0...1000	< 0,2* млн ⁻¹	2009
	ОПТЭК 3.02-П	O ₃ , мкг/м ³	0...500	± 20%	2009-2019
	Thermo Model 49	O ₃ , млрд ⁻¹	0...1000	± млрд ⁻¹	2019
	ОПТЭК К-100	CO ₂ , мг/м ³	0...50	± 20%	2009
	Model 42i-TL	NO/NO ₂ , мкг/м ³	0...10/500	± 1%	2017
	Model 43i-TLE	SO ₂ , мкг/м ³	0...20/2000	± 1%	2017
	Picarro G2508-m (измерение потоков «почва-атмосфера»)	CO ₂ , млн ⁻¹ CH ₄ , млн ⁻¹ N ₂ O, млн ⁻¹	20...5000 0,5...15 0...400	< 0,6 млн ⁻¹ < 0,01 млн ⁻¹ < 0,025 млн ⁻¹	2016
	Радиометр Rn и Tn SARAD RTM 2200	объемная активность Rn и Tn, Бк/м ³	0...10 ⁷	± 1 Бк/м ³	2019
Аэрозольный блок	Диффузионный спектрометр аэрозоля	D _p , нм (20 каналов) N, см ⁻³	3...200 0...10 ⁶	– ± 10%	2011
	GRIMM #1.108	D _p , мкм (15 канал) N, см ⁻³	0,3...20 0...2000	– ± 3%	2010
	Нефелометр ФАН-А	μ (45°), км ⁻¹ ср ⁻¹ λ=0,46/0,53/0,59 /0,63	0,001...1	± 3%	2013
	Фотометр Thermo Model 5012 МААР	BC, мкг/м ³	0...180	1%	2013

Продолжение таблицы 2

Блок	Прибор/датчик	Измеряемый параметр	Диапазон	Погрешность	Начало ряда
	Спектрометр аэроионов и нейтральных кластеров NAIS	D_p ионов, нм D_p кластеров, нм N , см ⁻³	0,8...40 2...40 0...10 ⁵	10%	2019
	Спектрометр наночастиц Airmodus A11 nCNC	D_p , нм N , см ⁻³	1...4 0...10 ⁵	20%	2019
	Дифференциальный спектрометр подвижности частиц DMPS	D_p (26 каналов), нм N , см ⁻³	4...1000 0...10 ⁵	10%	2020
	Времяпролетный масс-спектрометр CI-API-TOF	Химический состав ионов и нейтральных кластеров	1...2500 а.е.м.	–	2020
Радиационный блок	Kipp&Zonen CM3	λ , мкм Q , Вт/м ²	0,305...2,8 0...2000	< ± 2%	2016
	Kipp&Zonen SMP10	λ , мкм Q , Вт/м ²	0,285...2,8 0...4000	< ± 2%	2020
	Kipp&Zonen SUV5	λ , мкм УФ, Вт/м ²	0,280...0,4 0...400	< ± 1,5%	2020
	Kipp&Zonen SUV-B	λ , мкм УФ-В, Вт/м ²	0,28..0,31 5 0...9	< ± 2%	2020
	Kipp&Zonen CNR4	λ , мкм λ , мкм B , Вт/м ²	0,3...2,8 4,5...42 - 200...+80 0	< ± 2%	2020
	Kipp&Zonen PQS1	λ , мкм ФАР, мкмоль м ⁻² с ⁻¹	0,4...0,7	< ± 2%	2019

* при калибровке поверочными газовыми смесями (ПГС).

Для обеспечения высокого качества результатов интерпретации данных наблюдений как в глобальном, так и в региональном масштабе, Всемирная метеорологическая организация (ВМО) постоянно устанавливает все более жесткие требования к точности измерения, прежде всего концентрации основ-

ных парниковых газов. В связи с этим для постоянной калибровки система газоанализа CO₂ и CH₄ была оснащена поверочными газовыми смесями (ПГС), изготовленными компанией Deuste Steining GmbH в соответствии с требованиями ВМО (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация газов в поверочных смесях

ПГС	CO ₂ , млн ⁻¹	CH ₄ , млрд ⁻¹ *
1	370,91±0,005	1814,35±0,15
2	390,52±0,004	1962,69±0,077
3	400,85±0,001	2006,66±0,094
4	420,89±0,007	2209,63±0,107
5	430,87±0,006	2205,01±0,106
6*	390,33±0,009	1960,99±0,094

* резервная ПГС.

Для управления всем измерительным комплексом станции, а также сбора и передачи данных было разработано оригинальное программное обеспечение (ПО) в среде LabView 8.5. Оно позволяет работать комплексу, как в автоматическом, так и в ручном режимах. Автоматический режим реализуется при помощи задания алгоритма измерений. Каждый шаг алгоритма содержит команду действия и время, по которому должна выполняться последовательность действий.

Предусмотрены такие команды как: включение/выключение клапанов подачи проб воздуха или ПГС/ОГС; начать/закончить измерения; расчет калибровочных коэффициентов; сохранение и передача данных, а также ряд сервисных команд. В конце каждого цикла измерений происходит запись всех полученных данных, включая сервисные, в первичную базу данных (БД). Затем через GSM-канал сотовой сети устанавливается соединение с центральным сервером в ИОА СО РАН, после чего все данные, которые были получены на предыдущих этапах, передаются на удаленный сервер, где происходит их запись в основную и резервную БД.

В 2016 году для проведения измерений потоков парниковых газов на границе раздела почвы и атмосферы на территории измерительного комплекса были установлены две автоматические камеры (производства ИОА СО РАН [28]) прозрачная и затемненная (рис. 4). Измерения потоков парниковых газов между

почвой и атмосферой в течение вегетационного сезона выполняются комплексом, состоящим из анализатора Picarro G2508 N₂O/CH₄/CO₂/NH₃/H₂O и автоматической статических камер, разработанных в ИАО СО РАН. Анализатор G2508 работает в режиме рециркуляции, с использованием вакуумного насоса Picarro A0702 с обратной связью. Непрозрачная камера используется для измерения дыхания экосистемы, а прозрачная камера – для измерения нетто - экосистемного обмена (NEE), что позволяет определять валовую первичную продуктивность (GPP). Камеры имеют объем 0,324 м³. Они открываются и закрываются автоматически с помощью пневматической системы управления в соответствии со следующим графиком: 1 – одна камера закрыта (5 мин), другая открыта (5 мин); 2 – затем наоборот (5 мин); 3 – обе камеры открыты (10 мин) на проветривание с целью нормализации условий естественного состояния экосистемы; и так далее (всего 3 цикла в час).

Обсерватория Базовый экспериментальный комплекс (БЭК). Для контроля концентрации парниковых газов в пригородном районе была запущена обсерватория «Базовый экспериментальный комплекс» в 3 км к востоку от TOR-станции. Имеет координаты 56°28'49" с.ш., 85°06'08" в.д. Высота над уровнем моря 120 м. Внешний вид станции и размещение оборудования приведены на рис. 5. Технические характеристики в табл. 4.

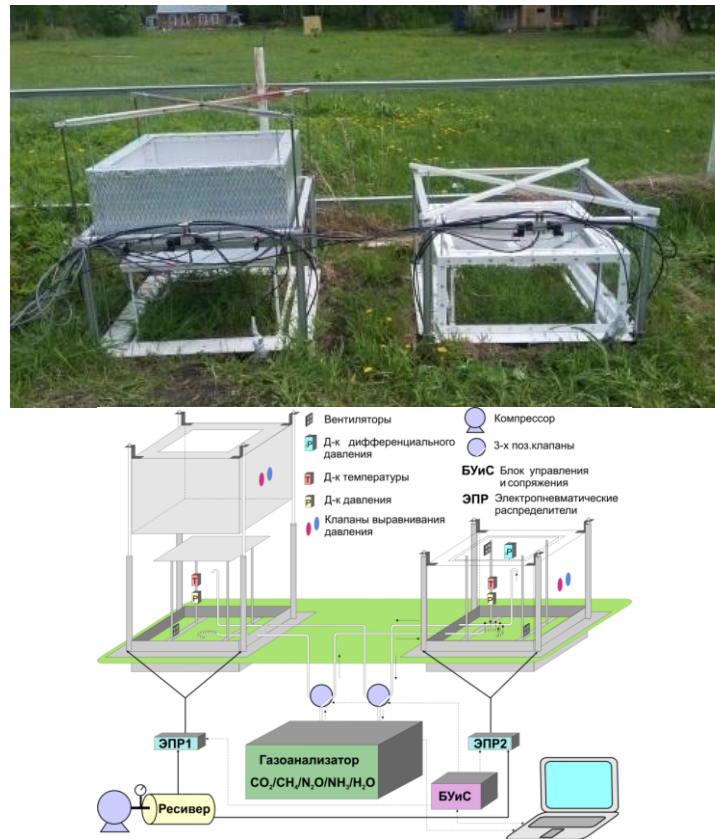


Рис. 4. Внешний вид и структурная схема камер для измерения потоков парниковых газов
Fig. 4. Appearance and block diagram of chambers for measuring greenhouse gas flows

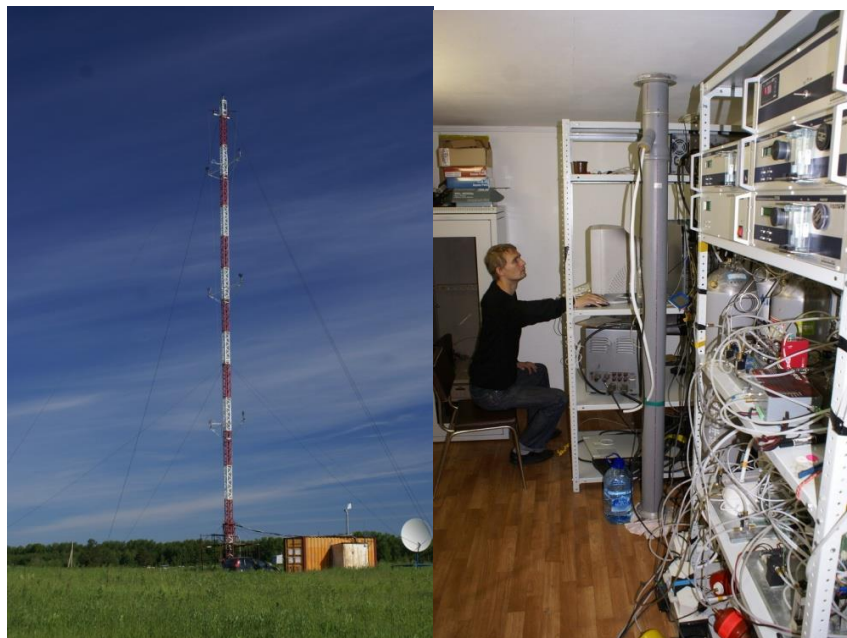


Рис. 5. Внешний вид БЭКа и оборудование в контейнере
Fig. 5. BEC appearance and equipment in a container

Таблица 4. Технические характеристики обсерватории БЭК

Блок	Прибор/датчик	Измеряемый параметр	Диапазон	Погрешность	Начало ряда
Метеоблок	Vaisala HMP45D	t, °C U, %	-40...+60 0...100	±0,2 °C ±2%	2018
	Young Model 05103	dd, град V, м/с	0...360 0...60	±3° ±0,3 м/с	2018
Блок газо-анализа	LI-COR LI-820	CO ₂ , млн ⁻¹	0...1000	< 0,2* ₁ млн ⁻¹	2009-2016-2021
	ОПТЭК 3.02-П	O ₃ , мкг/м ³	0...500	± 20%	2009-2016
	ОПТЭК К-100	CO, мкг/м ³	0...50	± 20%	2009-2016
	Teledyne API 200E	NO/NO ₂ , млн ⁻¹	0...20	±0,5%	2009-2016
	ME 9850B	SO ₂ , млн ⁻¹	0...20	±1%	2009-2016
	HCNM 2000G	CH ₄ и ΣCH ₁ , млн ⁻¹	0...10	0,1	2009-2014
Радиационный блок	Kipp&Zonen CM3	λ, мкм Q, Вт/м ²	0,305...2,8 0...2000	< ± 2%	2019
	Kipp&Zonen PQS1	λ, мкм ФАР, мкмоль м ⁻² с ⁻¹	0,4...0,7	< ± 2%	2019

* при калибровке поверочными газовыми смесями (ПГС).

Заключение. Для проведения мониторинга состава воздуха на территории Западной Сибири было создано 3 поста комплексного мониторинга и 2 стационара измерения потоков парниковых газов на границе почва-атмосфера.

Результаты мониторинга состава воздуха с их помощью приведены в части 2.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОА СО РАН, проект ВИП ГЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Meteorological Organization WMO Global Atmosphere Watch (GAW) Implementation Plan: 2016-2023. GAW Report No 228. WMO, 2017. 75 p.

2. Keeling, C.D. The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere // Tellus. 1960. V.12. N2. P. 200–203.

3. Nisbet E. Earth monitoring: Cinderella science // Nature. 2007. V. 450. N. 7171. P. 789–790.

4. World Meteorological Organization. 18th WMO/IAEA Meeting of Experts on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases and Related Tracers Measurement Techniques (GGMT-2015). GAW report N° 229. WMO, 2016. 137 p.

5. World Meteorological Organization. Guide to meteorological instruments and methods of observation. 2014. WMO N°8 (2014 edition). 1127 p.

6. The Global Atmosphere Watch Programme: 25 Years of Global Coordinat-

ed Atmospheric Composition Observations and Analyses. 2014. WMO No. 1143.

7. Wunch D., Toon G.C., Blavier J.F.L., Washenfelder R.A., Notholt J., Connor B.J., Griffith D.W.T., Sherlock V., and Wennberg P.O. The Total Carbon Column Observing Network // *Philos. T. R. Soc. A.* 2011. V. 369. N. 1943. P. 2087–2112.

8. Ortiz-Amezcuca P., Guerrero-Rascado L.L., Granados-Muñoz M.J., Benavent-Oltra J.A., Böckmann Ch., Samaras S., Stachlewska I.S., Janicka L., Baars H., Bohlmann S., and Alados-Arboledas L. Microphysical characterization of long-range transported biomass burning particles from North America at three EARLINET stations // *Atmos. Chem. Phys.* 2017. V. 17. N. 9. P. 5931–5946.

9. Sugimoto N., Shimizu A., Nishizawa T., Matsui I., Jin Y., Khatri P., Irie H, Takamura T., Aoki K. and Thana B. Aerosol characteristics in Phimai, Thailand determined by continuous observation with a polarization sensitive Mie–Raman lidar and a sky radiometer // *Environmental Research Letters.* 2015. V. 10. N. 6. 065003, doi:10.1088/1748-9326/10/6/065003.

10. Antuña-Marrero J.C., Landulfo E., Estevan R., Barja B., Robock A., Wolfram E., Ristori P., Clemesha B., Zaratti F., Forno R., Armandillo E., Bastidas Á.E., de Frutos Baraja Á.M., Whiteman D.N., Quel E., Barbosa H.M., Lopes F., Montilla-Rosero E., and Guerrero-Rascado J.L. LALINET: The First Latin American–Born Regional Atmospheric Observational Network // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2017. V. 98. N. 6. P. 1255–1275.

11. Lewis J.R., Campbell J.R., Welton E.J., Stewart S.A., and Haftings P.C. Overview of MPLNET Version 3 Cloud Detection // *J. Atmos. Oceanic Tech.* 2016. V. 33. N.10. P. 2113–2134.

12. Sickles II J.E. and Shadwick, D.S. Air quality and atmospheric deposition in the eastern US: 20 years of change // *Atmos. Chem. Phys.* 2015. V. 15. N. 1. P. 173–197.

13. Petzold A., Thouret V, Gerbig C., Zahn A, Brenninkmeijer C.A.M., Gallagher M., Hermann M., Pontaud M., Ziereis H., Boulanger D., Marshall J, Nédélec P, Smit H.G.J., Friess U., Flaud J.-M., Wahner A., Cammas J.-P., Volz-Thomas A. & IAGOS

TEAM. Global-scale atmosphere monitoring by in-service aircraft—current achievements and future prospects of the European Research Infrastructure IAGOS // *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology.* 2015. V.67. N.1. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v67.28452>.

14. Andrews A.E., Kofler J.D., Trudeau M.E., Williams J.C., Neff D.H., Matarie K.A., Chao D.Y., Kitziis D.R., Novelli P.C., Zhao C.L., Dlugokencky E.J., Lang P.M., Crotwell M.J., Fischer M.L., Parker M.J., Lee J.T., Baumann D.D., Desai A.R., Stanier C.O., De Wekker S.F.J., Wolfe D.E., Munger J.W. and Tans P.P. CO₂, CO, and CH₄ measurements from tall towers in the NOAA Earth System Research Laboratory's Global Greenhouse Gas Reference Network: instrumentation, uncertainty analysis, and recommendations for future high-accuracy greenhouse gas monitoring efforts // *Atmos. Meas. Tech.* 2014. V. 7. № 2 P. 647–687.

15. Zhao, C.L., Bakwin, P.S., and Tans, P.P. A design for unattended monitoring of carbon dioxide on a very tall tower // *J. Atmos. Ocean. Technol.* 1997. V. 14. № 5. P. 1139–1145.

16. Bakwin P., Tans P.P., Hurst D.F., and Zhao C.L. Measurements of carbon dioxide on very tall towers: results of the NOAA/CMDL program // *Tellus Ser. B-Chemical and Physical Meteorology.* 1998. V. 50. № 5. P. 401–415.

17. Higuchi K., Worthy D., Chan D., Shashkov A. Regional source/sink impact on the diurnal, seasonal and inter-annual variations in atmospheric CO₂ at a boreal forest site in Canada // *Tellus B.* 2003. V. 55. № 2. P. 115–125.

18. Thompson R.L., Manning A.C., Gloor E., Schultz U., Seifert T., Hansel F., Jordan A., and Heimann M. In-situ measurements of oxygen, carbon monoxide and greenhouse gases from Ochsenkopf tall tower in Germany, *Atmos. Meas. Tech.* 2009. V. 2. № 2. P. 573–591.

19. Popa M.E., Gloor M., Manning A.C., Jordan A., Schultz U., Haensel F., Seifert T. and Heimann M. Measurements of greenhouse gases and related tracers at Bialystok tall tower station in Poland // *Atmos. Meas. Tech.* 2010. V. 3. № 2. P. 407–427.

20. Vermeulen A.T., Hensen A., Popa M.E., van den Bulk W.C.M. and Jongejan P.A.C. Greenhouse gas observations from Cabauw Tall Tower (1992–2010) // *Atmos. Meas. Tech.* 2011. V. 4. № 3. P. 617–644.

21. Kadygrov N., Broquet G., Chevalier F., Rivier L., Gerbig C., and Ciais P. On the potential of the ICOS atmospheric CO₂ measurement network for estimating the biogenic CO₂ budget of Europe // *Atmos. Chem. Phys.* 2015. V. 15. N. 22. P. 12765–12787.

22. Hari P. and Kulmala M. Station for Measuring Ecosystem–Atmosphere Relations (SMEAR II). *Boreal Env. Res.* 2005. V. 10. N. 5. P. 315–322.

23. *Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2019 год.* Росгидромет, 2020. 217 с.

24. Winderlich J., Chen H., Gerbig C., Seifert T., Kolle O., Lavrič J. V., Kaiser C., Höfer A., and Heimann M. Continuous low-maintenance CO₂/CH₄/H₂O measurements at the Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO) in Central Siberia // *Atmos. Meas. Tech.* 2010. V. 3. № 4. P. 1113–1128.

25. Winderlich J., Gerbig C., Kolle O. and Heimann M. Inferences from CO₂ and CH₄ concentration profiles at the Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO) on regional summertime ecosystem fluxes // *Biogeosciences.* 2014 V. 11. № 7. P. 2055–2068.

26. Davydov D.K., Belan B.D., Antokhin P.N., Antokhina O.Yu., Antonovich V.V., Arshinova V.G., Arshinov M.Yu., Akhlyostin A.Yu., Belan S.B., Dudorova N.V., Ivlev G.A., Kozlov A.V., Pestunov D.A., Rasskazchikova T.M., Savkin D.E., Simonenkov D.V., Sklyadneva T.K., Tolmachev G.N., Fazliev A.Z., Fofonov A.V. Monitoring of Atmospheric Parameters: 25 Years of the Tropospheric Ozone Research Station of the Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences // *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2019, Vol. 32, No. 2, pp. 180–192.

27. Белан Б.Д., Аршинов М.Ю., Давыдов Д.К., Козлов А.В., Ивлев Г.А. Автоматическая камера для измерения потоков парниковых газов на поверхности раздела почва-атмосфера. Патент на полезную модель № 169373 от 15 марта 2017 г.

28. Antonovich V.V., Antokhin P.N., Arshinov M.Yu., Belan B.D., Balin Yu.S., Davydov D.K., Ivlev G.A., Kozlov A.V., Kozlov V.S., Kokhanenko G.P., Novoselov M.M., Panchenko M.V., Penner I.E., Pestunov D.A., Savkin D.E., Simonenkov D.V., Tolmachev G.N., Fofonov A.V., Chernov D.G., Smargunov V.P., Yausheva E.P., Paris J.-D., Ancellet G., Law K.S., Pelon J., Machida T., Sasakawa M. Station for the comprehensive monitoring of the atmosphere at Fonovaya Observatory, West Siberia: current status and future needs // *Proceedings of SPIE.* 2018. V.10833. CID: 10833 7Z. [10833-189]. DOI: 10.1117/12.2504388.

CARBONIC POLYGONS OF THE IOA SB RAS FOR STUDYING THE DYNAMICS OF GREENHOUSE GASES IN THE ATMOSPHERE. 1 PART

V.V. Antonovich¹, O.Yu. Antokhina¹, P.N. Antokhin¹, V.G. Arshinova¹, M.Yu. Arshinov¹, B.D. Belan¹, S.B. Belan¹, D.K. Davydov¹, G.A. Ivlev¹, A.V. Kozlov¹, Sh.Sh. Maksyutov², T. Machida², D.A. Pestunov¹, I.V. Ptashnik¹, T.M. Rasskazchikova¹, D.E. Savkin¹, Sasakawa², D.V. Simonenkov¹, T.K. Sklyadneva¹, G.N. Tolmachev¹, A.V. Fofonov¹

¹Institute of Atmospheric Optics named after V.E. Zuev, SB of RAS, Tomsk, RF

²National Institute for Environmental Research, Tsukuba, Japan

The currently observed global climate and environmental change, which is supposed to be related to an increase in the concentration of greenhouse gases, requires the organization of control over their content in the atmosphere. The first part of the work focuses on the history of the creation and development of an observational network of monitoring posts for monitoring the concentration of greenhouse gases in the Russian Federation. The monitoring system of the IAO SB RAS, deployed on the territory of Western

Siberia, is described in more detail. It includes 3 posts for comprehensive monitoring of air composition and 2 stations for measuring greenhouse gas fluxes at the soil-atmosphere boundary.

Keywords: atmosphere, nitrous oxide, concentration, methane, monitoring, observatory, greenhouse gases, post, station, carbon dioxide.

REFERENCES

1. World Meteorological Organization WMO Global Atmosphere Watch (GAW) Implementation Plan: 2016-2023. GAW Report No 228. WMO, 2017, 75 p.
2. Keeling, C.D. The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere // *Tellus*. 1960, Vol. 12, No. 2, pp. 200–203.
3. Nisbet E. Earth monitoring: Cinderella science // *Nature*. 2007. Vol. 450, No. 7171, pp. 789–790.
4. World Meteorological Organization. 18th WMO/IAEA Meeting of Experts on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases and Related Tracers Measurement Techniques (GGMT-2015). GAW report N° 229. WMO, 2016. 137 p.
5. World Meteorological Organization. Guide to meteorological instruments and methods of observation. 2014. WMO N°8 (2014 edition). 1127 p.
6. *The Global Atmosphere Watch Programme: 25 Years of Global Coordinated Atmospheric Composition Observations and Analyses*. 2014. WMO, No. 1143.
7. Wunch D., Toon G.C., Blavier J.F.L., Washenfelder R.A., Notholt J., Connor B.J., Griffith D.W.T., Sherlock V., and Wennberg P.O. The Total Carbon Column Observing Network // *Philos. T. R. Soc. A*. 2011, Vol. 369, No. 1943, pp. 2087–2112.
8. Ortiz-Amezcuca P., Guerrero-Rascado L.L., Granados-Muñoz M.J., Benavent-Oltra J.A., Böckmann Ch., Samaras S., Stachlewska I.S., Janicka L., Baars H., Bohlmann S., and Alados-Arboledas L. Microphysical characterization of long-range transported biomass burning particles from North America at three EARLINET stations // *Atmos. Chem. Phys.* 2017, Vol. 17, No. 9, pp. 5931–5946.
9. Sugimoto N., Shimizu A., Nishizawa T., Matsui I., Jin Y., Khatri P., Irie H., Takamura T., Aoki K. and Thana B. Aerosol characteristics in Phimai, Thailand determined by continuous observation with a polarization sensitive Mie–Raman lidar and a sky radiometer // *Environmental Research Letters*. 2015, Vol. 10, No. 6, 065003, doi:10.1088/1748-9326/10/6/065003.
10. Antuña-Marrero J.C., Landulfo E., Estevan R., Barja B., Robock A., Wolfram E., Ristori P., Clemesha B., Zaratti F., Forno R., Armandillo E., Bastidas Á.E., de Frutos Baraja Á.M., Whiteman D.N., Quel E., Barbosa H.M., Lopes F., Montilla-Rosero E., and Guerrero-Rascado J.L. LALINET: The First Latin American–Born Regional Atmospheric Observational Network // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2017, Vol. 98, No. 6, pp. 1255–1275.
11. Lewis J.R., Campbell J.R., Welton E.J., Stewart S.A., and Haftings P.C. Overview of MPLNET Version 3 Cloud Detection // *J. Atmos. Oceanic Tech.* 2016, Vol. 33, No.10, pp. 2113 – 2134.
12. Sickles II J.E. and Shadwick, D.S. Air quality and atmospheric deposition in the eastern US: 20 years of change // *Atmos. Chem. Phys.* 2015, Vol. 15, No. 1, pp. 173–197.
13. Petzold A., Thouret V, Gerbig C., Zahn A, Brenninkmeijer C.A.M., Gallagher M., Hermann M., Pontaud M., Ziereis H., Boulanger D., Marshall J, Nédélec P, Smit H.G.J., Friess U., Flaud J.-M., Wahner A., Cammas J.-P., Volz-Thomas A. & IAGOS TEAM. Global-scale atmosphere monitoring by in-service aircraft – current achievements and future prospects of the European Research Infrastructure IAGOS // *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 2015, Vol. 67, No. 1. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v67.28452>.
14. Andrews A.E., Kofler J.D., Trudeau M.E., Williams J.C., Neff D.H., Masarie K.A., Chao D. Y., Kitzis D.R., Novelli P. C., Zhao C. L., Dlugokencky E.J., Lang P.M., Crotwell M.J., Fischer M.L., Parker M.J., Lee J.T., Baumann D. D., Desai A. R., Stanier C.O., De Wekker S.F. , Wolfe D.E., Munger J.W. and Tans P.P. CO₂, CO, and CH₄ measurements from tall towers in the NOAA Earth System Research Laboratory's Global Greenhouse Gas Reference Network: instrumentation, uncertainty analysis, and recommendations for future high-accuracy greenhouse gas monitoring efforts // *Atmos. Meas. Tech.* 2014, Vol. 7, No. 2, pp. 647–687.
15. Zhao, C.L., Bakwin, P.S., and Tans, P.P. A design for unattended monitoring of carbon dioxide on a very tall tower // *J. Atmos. Ocean. Technol.* 1997, Vol. 14, No. 5, pp. 1139–1145.

16. Bakwin P.S., Tans P.P., Hurst D.F., and Zhao C.L. Measurements of carbon dioxide on very tall towers: results of the NOAA/CMDL program // *Tellus Ser. B-Chemical and Physical Meteorology*. 1998, Vol. 50, No. 5, pp. 401–415.
17. Higuchi K., Worthy D., Chan D., Shashkov A. Regional source/sink impact on the diurnal, seasonal and inter-annual variations in atmospheric CO₂ at a boreal forest site in Canada // *Tellus B*. 2003, Vol. 55, No. 2, pp. 115–125.
18. Thompson R.L., Manning A.C., Gloor E., Schultz U., Seifert T., Hansel F., Jordan A., and Heimann M. In-situ measurements of oxygen, carbon monoxide and greenhouse gases from Ochsenkopf tall tower in Germany, *Atmos. Meas. Tech.* 2009, Vol. 2, No. 2, pp. 573–591.
19. Popa M.E., Gloor M., Manning A.C., Jordan A., Schultz U., Haensel F., Seifert T. and Heimann M. Measurements of greenhouse gases and related tracers at Bialystok tall tower station in Poland // *Atmos. Meas. Tech.* 2010, Vol. 3, No. 2, pp. 407–427.
20. Vermeulen A.T., Hensen A., Popa M.E., van den Bulk W.C.M. and Jongejan P.A.C. Greenhouse gas observations from Cabauw Tall Tower (1992–2010) // *Atmos. Meas. Tech.* 2011, Vol. 4, No. 3, pp. 617–644.
21. Kadyrov N., Broquet G., Chevallier F., Rivier L., Gerbig C., and Ciais P. On the potential of the ICOS atmospheric CO₂ measurement network for estimating the biogenic CO₂ budget of Europe // *Atmos. Chem. Phys.* 2015, Vol. 15, No. 22, pp. 12765–12787.
22. Hari P. and Kulmala M. Station for Measuring Ecosystem–Atmosphere Relations (SMEAR II). *Boreal Env. Res.* 2005. V.10. N.5. P. 315–322.
23. *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii za 2019 god.* (Overview of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2019). Rosgidromet, 2020. 217 p.
24. Winderlich J., Chen H., Gerbig C., Seifert T., Kolle O., Lavrič J.V., Kaiser C., Höfer A., and Heimann M. Continuous low-maintenance CO₂/CH₄/H₂O measurements at the Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO) in Central Siberia // *Atmos. Meas. Tech.* 2010, Vol. 3, No. 4, pp. 1113–1128.
25. Winderlich J., Gerbig C., Kolle O. and Heimann M. Inferences from CO₂ and CH₄ concentration profiles at the Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO) on regional summertime ecosystem fluxes // *Biogeosciences*. 2014, Vol. 11. No. 7, pp. 2055–2068.
26. Davydov D.K., Belan B.D., Antokhin P.N., Antokhina O.Yu., Antonovich V.V., Arshinova V.G., Arshinov M.Yu., Akhlyostin A.Yu., Belan S.B., Dudorova N.V., Ivlev G.A., Kozlov A.V., Pestunov D.A., Rasskazchikova T.M., Savkin D.E., Simonenkov D.V., Sklyadneva T.K., Tolmachev G.N., Fazliev A.Z., Fofonov A.V. Monitoring of Atmospheric Parameters: 25 Years of the Tropospheric Ozone Research Station of the Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences // *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2019, Vol. 32, No. 2, pp. 180–192.
27. Btlan B.D., Arshinov M.YU., Davydov D.K., Kozlov A.V., Ivlev G.A. Avtomaticheskaya kamera dlya izmereniya potokov parnikovyh gazov na poverhnosti razdela pochva-atmosfera (Automatic chamber for measuring greenhouse gas fluxes at the soil-atmosphere interface). Patent na poleznuyu model' № 169373 ot 15 marta 2017.
28. Antonovich V.V., Antokhin P.N., Arshinov M.Yu., Belan B.D., Balin Yu.S., Davydov D.K., Ivlev G.A., Kozlov A.V., Kozlov V.S., Kokhanenko G.P., Novoselov M.M., Panchenko M.V., Penner I.E., Pestunov D.A., Savkin D.E., Simonenkov D.V., Tolmachev G.N., Fofonov A.V., Chernov D.G., Smargunov V.P., Yausheva E.P., Paris J.-D., Ancellet G., Law K.S., Pelon J., Machida T., Sasakawa M. Station for the comprehensive monitoring of the atmosphere at Fonovaya Observatory, West Siberia: current status and future needs // *Proceedings of SPIE*. 2018, Vol. 10833. CID: 10833 7Z. [10833-189]. DOI: 10.1117/12.2504388.