

МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 504.06

Моделирование содержания парниковых газов в атмосфере нефтегазодобывающих районов

М.Н. Алексеева^{✉1}, Д.В. Федоров², И.Г. Яценко², И.В. Русских^{2*}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт химии нефти СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 4

Поступила в редакцию 27.03.2024;
после доработки 26.06.2024;
принята к печати 13.09.2024

В технологии подготовки химического сырья или топлива из попутного нефтяного газа предусмотрено сжигание попутного газа в факелах низкого давления, при этом в атмосферу выбрасываются сажа (С), диоксид азота (N), оксид углерода (CO₂) и метан (CH₄). Для оценки состояния атмосферы в районе нефтегазодобычи предложен комплексный подход к моделированию полей рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое воздуха от факельных установок на территории Мамонтовского месторождения Нефтеюганского района ХМАО. Этот подход включает моделирование концентраций С, NO₂, CO₂ и CH₄ с использованием программы «УПРЗА Эко-Центр» и наземных (определение содержания органических соединений в почвах) и спутниковых данных (AIRS) о концентрации парниковых газов. Данный подход позволяет проводить комплексные мониторинговые исследования состояния окружающей природной среды удаленных северных нефтегазодобывающих территорий на основе спутниковых и наземных данных.

Ключевые слова: оксид углерода, диоксид азота, сажа, спутниковые продукты, приземный слой атмосферы, факельные установки, моделирование рассеивания, попутный нефтяной газ; carbon monoxide, nitrogen dioxide, soot, satellite products, surface air layer, flare installations, dispersion simulation, associated petroleum gas.

Введение

При добыче углеводородов и их дальнейшего использования происходит загрязнение атмосферы выбросами парниковых газов и твердыми частицами. В 2019 г. в России суммарный объем выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу от стационарных источников составил 17,3 млн т, в том числе при добыче сырой нефти и природного газа — 2,4 млн т (13,9%), при обеспечении электрической энергией, газом и паром — 3004,2 тыс. т (17,4%) [1]. По данным [2] в 2022 г. выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на территории ХМАО составили 1141,6 тыс. т. В Нефтеюганском районе ХМАО за последние пять лет наибольший объем (271,1 тыс. т) выбросов от стационарных источников был в 2020 г. [3]. В 2020 г., согласно данным [3], всего в атмосферу городов Нефтеюганск и Пыть-Ях было выброшено 1167 и 27411 т

загрязняющих веществ, в составе которых преобладают соответственно: оксид углерода (CO) — 310 т (26%) и 20162 т (73%); диоксид азота (NO₂) — 245 т (21%) и 1256 т (4,5%); диоксид серы (SO₂) — 144 т (12,4%) и 6 т (0,02%); углеводороды без летучих органических соединений — 3 т (0,3%) и 2359 т (8,6%); летучие органические соединения — 114 т (9,7%) и 1407 т (5%); твердые вещества — 319 т (27%) и 2208 т (8%).

Несмотря на указанные объемы загрязняющих веществ, их концентрации в атмосферном воздухе невысокие (рис. 1). По данным наземных измерений [3] концентрации CO, NO₂ и углерода (сажи) в г. Нефтеюганске с 2021 по 2023 г. не превышают предельно допустимые максимально-разовые концентрации (ПДК_{мр}): 5; 0,2 и 0,15 мг/м³ [4] соответственно.

Оксид углерода — токсичный газ, образующийся в процессе неполного сгорания топлива (древесного, угольного или нефтепродуктов) в котлоагрегатах, двигателях автомобилей, факелах, в бытовых и промышленных печах. Значительные выбросы CO в атмосферу происходят также при пожарах. Диоксид азота — желто-бурый газ с едким запахом, блокирующий дыхательные пути. В холодной среде

* Мария Николаевна Алексеева (amn@ipc.tsc.ru);
Денис Викторович Федоров (denilletti@gmail.com); Ирина
Германовна Яценко (sric@ipc.tsc.ru); Ирина Владимировна
Русских (rus@ipc.tsc.ru).

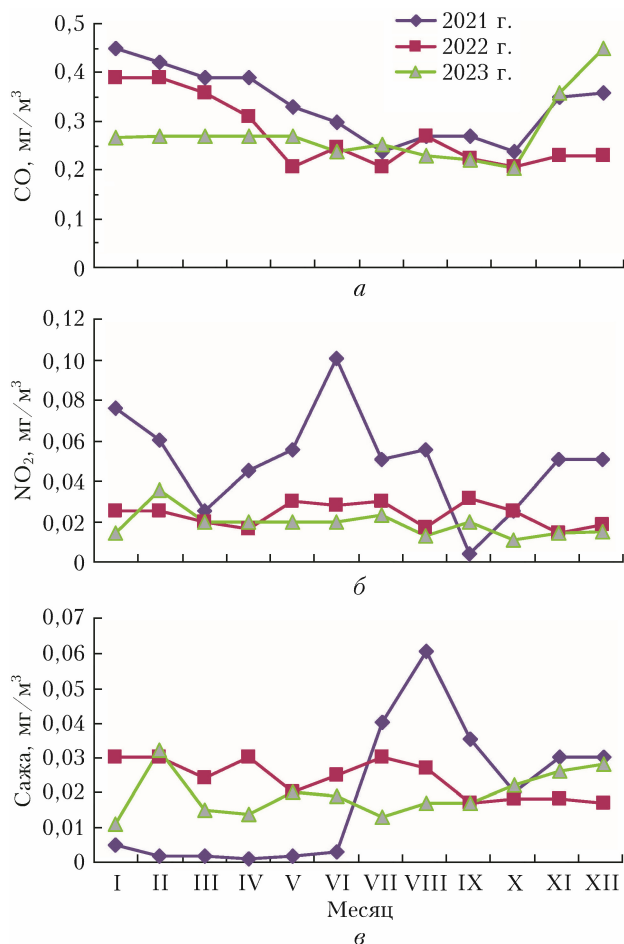


Рис. 1. Концентрации CO (а), NO₂ (б) и сажи (в) в г. Нефтеюганске по наземным данным [3]

не имеет цвета. При температурах более 150 °C происходит распад смеси на окись азота и кислород. Кроме перечисленных соединений в атмосферу выбрасываются твердые частицы углерода (сажа), являющиеся нетоксичными. Однако их пористая поверхность способна задерживать на себе микро-частицы ароматических углеводородов [5]. Актуальность работы определяется необходимостью соответствия качества атмосферного воздуха существующим нормативам при добыче и эксплуатации углеводородов, в связи с чем применяются различные методы исследования. Например, в [6] проводилось программное моделирование рассеивания паров выбросов загрязняющих веществ (углеводородов) с целью определения концентраций на границе санитарно-защитной зоны и жилой застройки. Известны [7] мониторинговые исследования метана в районе нефтегазовых месторождений по наборам данных веб-сайтов (NASA).

Цель работы — моделирование полей рассеивания загрязняющих веществ от факельных установок (ФУ) Мамонтовского месторождения, расположенного в Нефтеюганском районе ХМАО, и определение их концентраций с использованием программы «УПРЗА Эко-Центр», дистанционных и наземных данных в районе ФУ.

Материалы и методы

Исследуемая территория входит в зону средне-таежных лесов и лесистых болот. Мамонтовское месторождение расположено в центральной части Западно-Сибирской равнины Салымско-Обской плоской террасовой болотно-таежной ландшафтной провинции. На слабо дренируемых берегах рек и ручьев произрастает смешанный лес с преобладанием сосны и небольшой примесью березы, распространены вторичные мелколиственные травяно-кустарничковые леса и верховые болота. Территория месторождения в значительной мере антропогенно преобразована объектами инфраструктуры и нефтегазодобычи. Ранее в работе [8] были выявлены участки нефтезагрязненных земель Мамонтовского месторождения с очень высокой степенью загрязнения.

Близко расположенные ФУ № 1, 2 находятся в южной части Мамонтовского месторождения, а ФУ № 3 — в центральной. Они работают при установках предварительного сброса воды (УПСВ) Мамонтовского месторождения, разрабатываемого «РН-Юганскнефтегаз» (ПАО «НК „Роснефть“»). На УПСВ происходит сброс воды до остаточного содержания ее в нефти порядка 1–10%. Производится сепарация газа, часть которого поступает на компрессорную станцию и сдается на газоперерабатывающий завод. Остаточный газ поступает для сжигания на факел низкого давления [9].

Для определения содержания загрязняющих веществ в почве в 2021 г. в зоне влияния ФУ № 3 осуществлен отбор проб почвы с учетом преобладающей розы ветров на исследуемой территории. Были отобраны образцы почвы с поверхности участков А–Д верховых болот и хвойных лесов, которые находятся на разных расстояниях от ФУ № 3: А — 216, Б — 486, В — 710, Г — 1037, Д — 1380 м (рис. 2). Моделирование полей рассеивания ЗВ проводили от ФУ № 1, 2. Наземные исследования в зоне воздействия ФУ № 1, 2 не выполняли.

Поля рассеивания СО моделировались по унифицированной программе расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА), разработанной и выложенной в интернет 24.12.2018 г. компанией «ЭКО ЦЕНТР» [10] на основе документа ОНД-86 [11]. На основе документа [11] в 2017 г. были созданы методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе [12].

Параметрами для моделирования полей рассеивания в программе УПРЗА ОНД-86 являются: диаметр устья и высота точечного источника; температура, скорость выхода и объемный расход газозоо-воздушной смеси; максимально разовый и валовый выбросы ЗВ. Максимальные объемы сжигаемого попутного нефтяного газа (ПНГ) определены в соответствии с [9, 13].

Для моделирования полей рассеивания ЗВ в программе УПРЗА ОНД-86 произведены дополнительные расчеты в соответствии с формулами из методики [14], которые перечислены ниже.

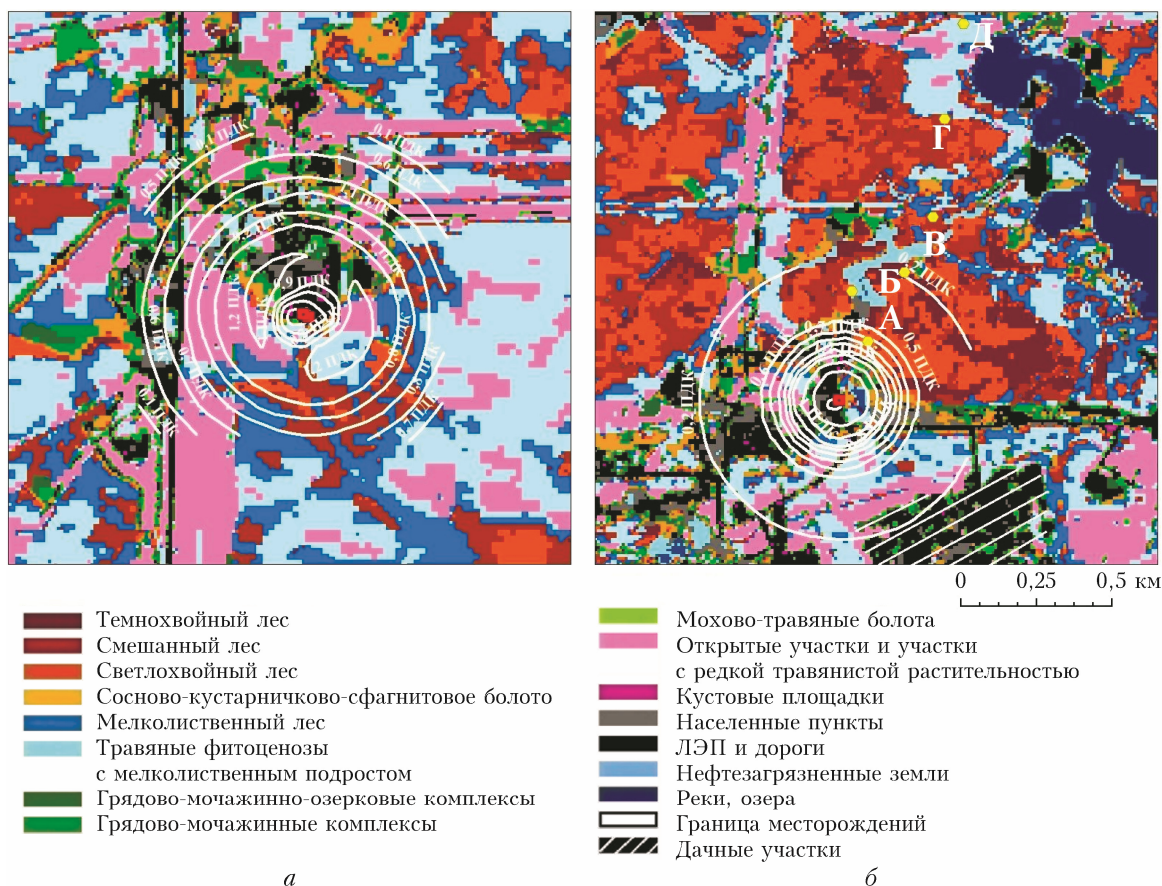


Рис. 2. Поля рассеивания СО в атмосферном воздухе вокруг ФУ: № 1, 2 (а) и № 3 (б). Здесь и далее буквами А–Д обозначены площадки с отбором образцов почвы и растительности в зоне ФУ № 3 на расстоянии: А – 216, Б – 486, В – 710, Г – 1037, Д – 1380 м (см. цветные рисунки на сайте <http://iao.ru/ru/content/vol.37-2024/iss.11>)

Объемный расход ПНГ, сжигаемого на ФУ за секунду, рассчитывается по формуле

$$W_v = W / (t_{\text{дн}} \cdot t_c) \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где $t_{\text{дн}}$ – количество суток работы ФУ; t_c – количество секунд; W – объемный расход газа, сжигаемого на ФУ за год, $\text{м}^3/\text{год}$.

Объемный расход продуктов сгорания, покидающих ФУ, находим следующим образом:

$$W_{\text{пр}} = W_v \cdot V_{\text{пр}} \cdot ((273 + T_{\text{г}})/273) \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2)$$

Здесь $T_{\text{г}}$ – температура горения, $^{\circ}\text{C}$; $V_{\text{пр}}$ – количество продуктов сгорания, образующихся при стехиометрическом сгорании 1 м^3 ПНГ в атмосфере влажного воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$, рассчитано в [15].

Средняя скорость поступления в атмосферу продуктов сгорания ПНГ рассчитывается как

$$W_{\text{пр}} = 1,274 \cdot W_{\text{пр}} / D_{\text{ф}}^2 \text{ м/с}, \quad (3)$$

где $D_{\text{ф}}$ – диаметр факела, м, рассчитанный в приложении, которое создано с помощью программы Excel [15].

Расчет максимальных выбросов вредных веществ проводится по формуле

$$W_{gi} = 0,278 \cdot q_i \cdot W_g \text{ г/с}, \quad (4)$$

где q_i – удельный выброс i -го вредного вещества на единицу массы сжигаемого газа, кг/кг [14]; $W_g = 3600 \cdot p_{\text{г}} \cdot W_v$ – массовый расход сбрасываемого на факельной установке газа, кг/ч , $p_{\text{г}}$ – плотность газа, кг/м^3 .

Валовые выбросы вредных веществ за год рассчитываются по формуле

$$W_{gi}(t) = 0,001 \cdot q_i \cdot W_g \cdot t \text{ т/год} \quad (5)$$

(t – продолжительность работы факельной установки в течение года, ч).

В настоящей работе использованы карты концентраций СО из интернета [16]. Карта мольной доли угарного газа (ppbv) на уровне 1000 гПа с разрешением 1° создана NASA по данным спутника AIRS.

Органическое вещество выделено из высушенной почвы (2–20 г) экстракцией 7%-м раствором метанола в хлороформе при 65°C в течение 2 ч. Из органического вещества гексаном выделяли углеводородную фракцию, детальный анализ компонентного состава которой проводили хроматомасс-спектрометром DFS фирмы Thermo Scientific (Германия). С помощью хроматомасс-спектрометрического анализа по значениям молекулярных масс (m/z)

в почвах и растениях идентифицировали органические соединения: алифатические углеводороды *n*-алканы и изоалканы (m/z 57), гопаны, гопены и олеанены (m/z 191), стераны (m/z 217, m/z 218), полициклоароматические углеводороды: антрацен/фенантрен (m/z 178), флуорантен и пирен (m/z 202), хлорофенотаны (m/z 235).

Результаты и обсуждение

По формулам (1)–(5) рассчитаны максимальные разовые и валовые выбросы от трех ФУ (таблица), а также процентное соотношение выбросов СО (83%), сажи (10%), NO₂ (0,7%), метана (6%). На рис. 2 приведены изолинии концентраций СО от ФУ № 1–3, построенные в программе «УПРЗА Эко-Центр» и совмещенные в программе ArcMap с компьютерной картой растительного покрова района, созданной по космическому снимку Sentinel-2, дата съемки 14.06.2021 г. Расстояния от ФУ до изолиний концентраций были измерены по преобладающему направлению ветра средствами ArcMap. От ФУ № 1, 2 изолинии с концентрациями 1ПДК_{мр} СО (5 мг/м³) и 0,5ПДК_{мр} СО (2,5 мг/м³) находятся на расстояниях 290 и 624 м соответственно (рис. 2, а). Расстояния от ФУ № 3 до изолиний с концентрацией 1ПДК_{мр} СО (5 мг/м³) и 0,2ПДК_{мр} СО (1 мг/м³) составляют 163 и 508 м (рис. 2, б).

В границах поля рассеивания 1ПДК_{мр} СО от ФУ № 1, 2 на площади 0,53 км² преобладают: открытые участки и участки с редкой травянистой растительностью (28%), мелколиственный лес (16%), ЛЭП и дороги (7,3%), смешанный лес (10%), светлохвойный лес (6%). В границах поля рассеивания 1ПДК_{мр} СО от ФУ № 3 на площади 0,16 км² преобладают следующие типы наземного покрова: открытые участки и участки с редкой травянистой растительностью (22%), ЛЭП и дороги (13,4%), травяные фитоценозы с мелколиственным подростом (11%).

Рассчитанные на основе моделирования полей рассеивания концентрации NO₂ невелики. Расстояния от ФУ № 1–3 до изолиний с концентрациями 0,1ПДК_{мр} NO₂ (0,02 мг/м³) равны 625 и 284 м соответственно (рис. 3). При моделировании полей рассеивания сажи обнаружено превышение ПДК_{мр}.

От ФУ № 1, 2 на расстоянии 722 м обнаружена концентрация углерода (сажи), равная 3ПДК_{мр} (0,45 мг/м³). На границе санитарно-защитной зоны (1 км от ФУ) концентрация сажи уменьшилась и не превышает 1ПДК_{мр}. Расстояние от ФУ № 3 до изолинии с концентрацией сажи 1ПДК_{мр} (0,15 мг/м³) равно 505 м. Поля рассеивания метана и бензапирена не рассчитаны вследствие их очень малой концентрации.

Концентрации ЗВ в атмосфере по мере удаления от ФУ снижаются (рис. 2 и 3). Установлено, что в границах дачных участков, расположенных на юге от ФУ № 3 (рис. 2, б), превышения ПДК_{мр} не наблюдаются.

Результаты расчета концентраций СО путем моделирования их полей рассеивания в программе УПРЗА не противоречат данным спутниковых наблюдений (рис. 4). Так, средние дневные концентрации СО, рассчитанные за весь год, а также за холодный и теплый периоды, в пикселе с ФУ составили 135,42; 152,10; 112,06 ppbv, а средние ночные концентрации 129,39; 154,15; 120,59 ppbv. Полученные значения малы и не превышают ПДК_{мр} СО (4290 ppbv). При переводе их в мг/м³ они равны в среднем 0,2 мг/м³, что совпадает с данными, приведенными на рис. 1.

С использованием *t*-критерия Стьюдента при доверительной вероятности $p = 0,95$ выявлены значимые различия между дневными и ночными приземными концентрациями СО над участком с ФУ в теплый период (с мая по сентябрь). Рассчитанное значение *t*-критерия Стьюдента равно –2,1. Действительно, по этому критерию установлено, что в 2021 и 2022 гг. ночью количество тепловых объектов с открытым пламенем было больше, чем днем. Обнаружена отрицательная корреляция ($r = -0,8$) приземной годовой концентрации СО с яркостной температурой горячих точек, которая взята из файлов по пожарам fire_archive_SV-C2 (стандартный продукт VIIRS 375 м для борьбы с пожарами и тепловыми аномалиями, разработанный Мэрилендским университетом, США) [17]). Из данного продукта следует, что средние яркостные температуры и радиусы зон тепловых воздействий от ФУ больше в теплый период, чем в холодный.

В составе органического вещества почв преобладают алифатические углеводороды: от 50 до 80%

Максимально-разовые и валовые выбросы от трех факельных установок

Компонент	ФУ № 1		ФУ № 2		ФУ № 3	
	Максимальный, г/с	Валовый, т/год	Максимальный, г/с	Валовый, т/год	Максимальный, г/с	Валовый, т/год
СО	13,815	435,32	57,17	93,77	10	315,22
NO ₂	0,1105	3,48	0,457	0,75	0,08	2,52
Сажа	1,658	52,239	6,87	11,25	1,2	37,82
Бенз(а)пирен	$4,42 \cdot 10^{-9}$	$1,393 \cdot 10^{-7}$	$1,83 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-7}$
Метан	0,995	31,34	4,116	6,75	0,72	22,7

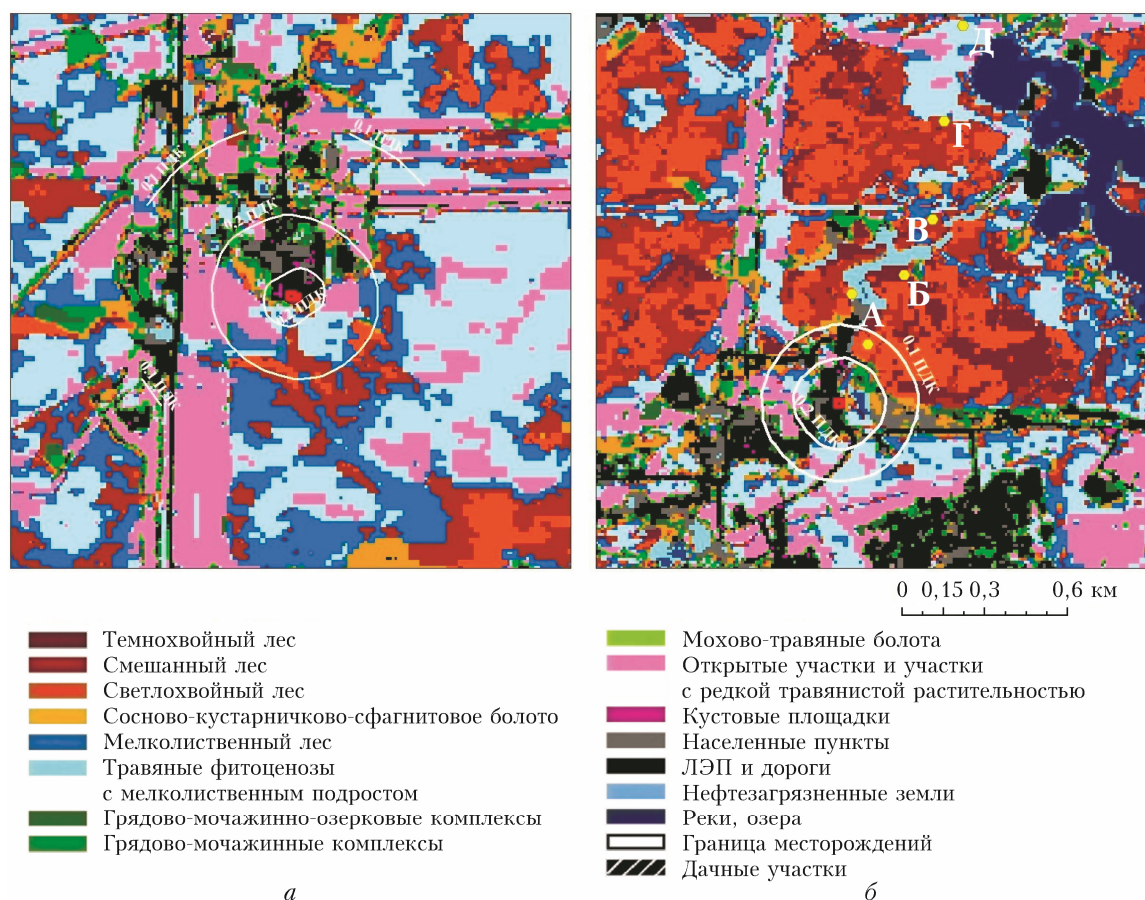


Рис. 3. Поля рассеивания NO_2 в атмосферном воздухе вокруг ФУ № 1, 2 (а) и № 3 (б)

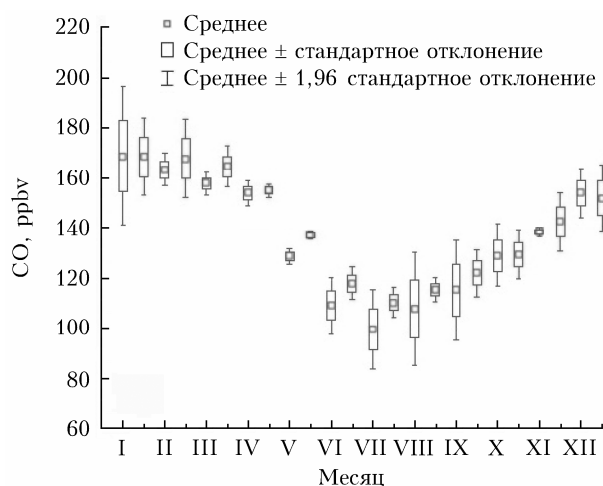


Рис. 4. Изменчивость по месяцам приземной концентрации CO в среднем за 2021–2023 гг.: первый «ящик с усами» показывает дневную вариацию концентрации за месяц, второй — ночную

от всех идентифицируемых соединений с доминированием высокомолекулярных гомологов (C_{27} – C_{33}). Молекулярно-массовое распределение n -алканов в почве и растениях исследованной территории представлено на рис. 5. Максимальное суммарное

количество n -алканов отмечено в образце с площадки В (75,3 мкг/г) на расстоянии 710 м от ФУ, минимальное — в образце с площадки А (1,21 мкг/г). В образцах растительности, отобранных на площадке Б, в составе органического вещества выявлены следы углеводородов. В почвах, отобранных в зоне влияния факела на расстоянии до 1500 м, доминирует гомолог C_{27} , кроме него большую долю составляют гомологи C_{25} , C_{29} , C_{31} , характерные для наземной растительности [18].

Кроме того, идентифицированы полициклоароматические соединения (ПАУ) — антрацен/фенантрен, флуорантен и пирен, которые образуются, вероятно, при сжигании газа на ФУ. Их распределение, представленное на рис. 5, в, указывает на увеличение концентрации по мере отдаления от источника загрязнения. Максимальное содержание ПАУ наблюдается в образце, удаленном на 1380 м от факела, что, вероятно, связано с их сторанием, последующим рассеиванием в атмосфере и осаждением на почву. В образцах были также обнаружены мононенасыщенные соединения — гопены и олеаныны, характерные для природных веществ [19].

Во всех пробах почвы, кроме фоновых образцов, определены хлорофенотаны, входящие в состав инсектицидов, которые используются при борьбе

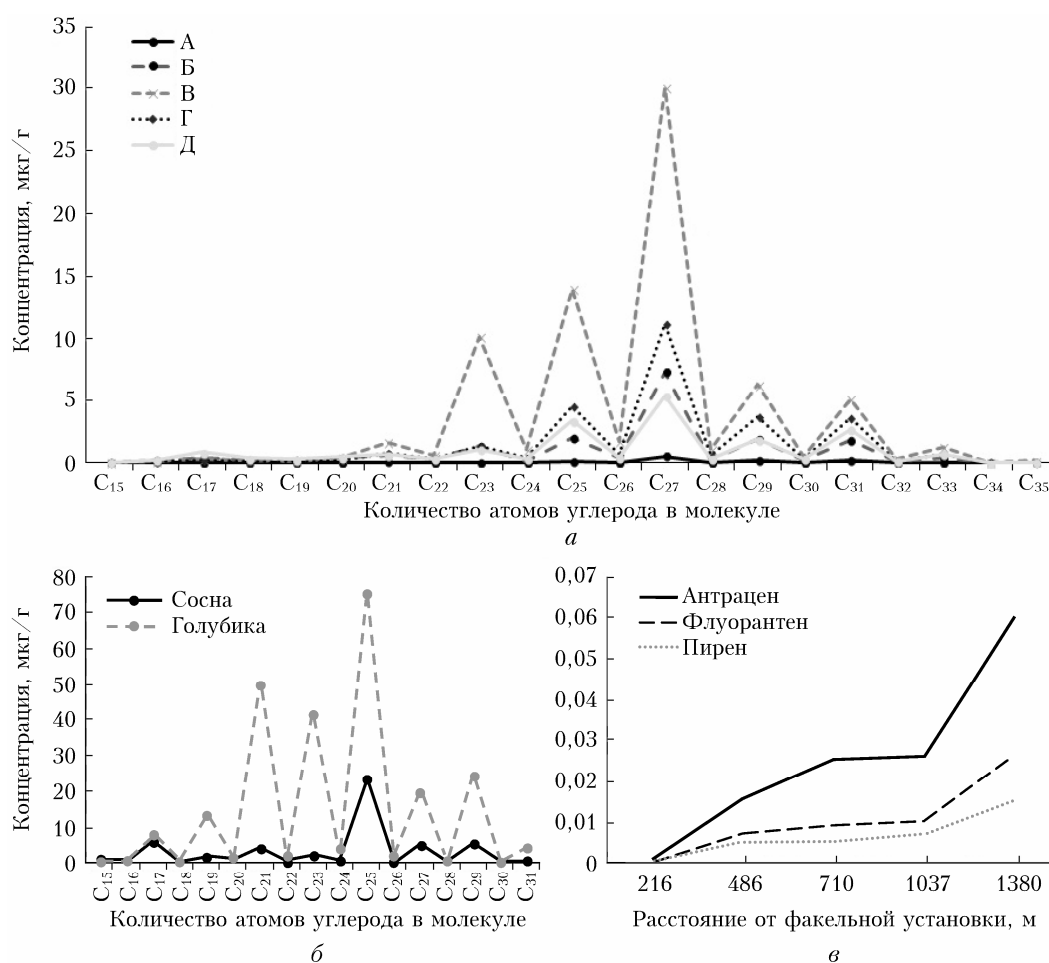


Рис. 5. Молекулярно-массовое распределение органических соединений в почве в зоне влияния ФУ № 3: *n*-алканов (а); *n*-алканов на площадке Б в иглах сосны и листьях голубики (б); пространственное распределение концентраций полициклоароматических углеводородов (в)

с вредителями лесного хозяйства. Их концентрация выше ПДК (ПДК хлорофенатов в почвах составляет 0,1 $\mu\text{g/g}$ [20]) в 11–184 раза, за исключением образца с участка А. Видимо, эти соединения попали в почву из воздуха.

Закключение

В работе предложен и апробирован комплексный подход к моделированию полей рассеивания и определению концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе от факельных установок. Приведена компьютерная карта растительного покрова на основе космического снимка Sentinel-2 (дата съемки 14.06.2021 г.) с отображением полей рассеивания загрязняющих веществ. В целом концентрации CO , NO_2 и сажи, рассчитанные путем моделирования полей рассеивания выбросов загрязняющих веществ, не превышают $1\text{ПДК}_{\text{мр}}$ на границе санитарно-защитной зоны (1000 м) вокруг каждого факела. Полученные результаты не противоречат спутниковым данным AIRS.

Хроматомасс-спектрометрический анализ показал, что в составе органического вещества почв преобладают алифатические углеводороды, их содержание варьируется от 50 до 80% от всех идентифицированных соединений с доминированием высокомолекулярных гомологов (C_{27} – C_{33}). Максимальное суммарное количество *n*-алканов (75,3 $\mu\text{g/g}$) отмечено в почве на участке В, который находится на расстоянии 710 м от ФУ. В органическом веществе игл сосны и листьев голубики доминирует гомолог C_{27} и присутствуют C_{25} , C_{29} , C_{31} , характерные для наземной растительности. Кроме того, в почве идентифицированы полициклоароматические соединения — антрацен/фенантрен, флуорантен и пирен. По мере удаления от факельных установок снижается количество вредных веществ за счет их рассеивания. При этом наблюдается постепенное увеличение содержания полициклических ароматических углеводородов по мере удаления от факела, что не исключает вероятную миграцию загрязняющих веществ от г. Пыть-Ях и депонирование их в верхних слоях торфяной почвы.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания ИХН СО РАН (НИОКТР 121031500046-7).

Список литературы

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова. 2020. 1000 с.
2. Доклад об экологической ситуации в Ханты–Мансийском автономном округе – Югре в 2021 году. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-autonomnom-okruge-yugre/7644301/2021-god/> (дата обращения: 10.03.2024).
3. Атмосферный воздух. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/sostoyanie-okruzhayushchey-sredy/atmosfernyy-vozdukh/> (дата обращения: 15.03.2024).
4. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания от 28.01.2021. № 2. М., 2021. 41 с.
5. Матвеев С.Г., Орлов М.Ю., Чечет И.В., Семёнов А.В. Взаимосвязь между выбросами сажи и бенз(а)пирена тепловыми двигателями на углеводородном топливе // Вестн. Самарского гос. аэрокосмического ун-та. 2009. № 3. С. 210–215.
6. Кошкарёв С.А. Сокращение выбросов АЗС на основе моделирования их рассеивания // Альтернативная энергетика и экология. 2015. № 7. С. 82–92.
7. Reddy P.J., Taylor C. Downward trend in methane detected in anorthern Colorado oil and gas production region using AIRS satellite data // Earth Space Sci. 2022. V. 9, N 12. P. e2022EA002609. DOI: 10.1029/2022EA002609.
8. Алексеева М.Н., Федоров Д.В., Русских И.В., Яценко И.Г. Дистанционно-наземный мониторинг нефтезагрязненных земель Нефтеюганского района ХМАО // Оптика атмосф. и океана. 2023. Т. 36, № 6. С. 513–520. DOI: 10.15372/AOO20230613.
9. Филиппова Н.В. Анализ работы установки предварительного сброса воды ЦДНГ-9 НГДУ «Мамонтовнефть»: автореф. ... дис. маг. Тюмень, 2003. 108 с.
10. УПРЗА «ЭКО-центр». Руководство пользователя. URL: <https://eco-c.ru/public/emission/%D0%A3%D0%9F%D0%A0%D0%97%D0%90%20%C2%AB%D0%AD%D0%9A%D0%9E%20%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%C2%BB.%20%D0%A0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8F.pdf> (дата обращения: 15.03.2024).
11. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86. РД 52.04.212-86. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294853/4294853873.htm> (дата обращения: 15.03.2024).
12. Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Утвержден приказом Минприроды России от 06 июня 2017 г. № 273. М., 2017. 109 с.
13. Ющенко П. Охрана атмосферного воздуха при эксплуатации Мамонтовского месторождения. URL: https://www.yaneuch.ru/cat_19/ohrana-atmosfernogo-vozduha-pri-jekspluatacii/393454.2675300.page1.html (дата обращения: 15.03.2024).
14. Методика расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках. Утверждена приказом Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 08 апреля 1998 г. № 199. СПб., 1997. 41 с.
15. Расчет выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках. URL: <https://intertreid2.okis.ru/PO.html> (дата обращения: 10.03.2024).
16. Веб-сайт NASA Giovanni. URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> (дата обращения: 10.03.2024).
17. Fire Information for Resource Management System. URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov> (дата обращения: 25.05.2024).
18. Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The biomarker guide. Second edition. Cambridge: University Press, 2005. 1155 p.
19. Серебрянникова О.В., Гулая Е.В., Стрельникова Е.Б., Преис Ю.И., Дучко М.А. Распределение *n*-алканов, стероидов и тритерпеноидов в торфе и растениях болота Тёмное // Изв. Том. политехн. ун-та. 2013. Т. 323, № 1. С. 40–44.
20. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 1.2.3539-18 «Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень) от 10 мая 2018 г.» № 33. М., 2018. 109 с.

M.N. Alekseeva, D.V. Fedorov, I.G. Yashchenko, I.V. Russkikh. Simulation of greenhouse gas content in the atmosphere of oil and gas producing areas.

A comprehensive approach to simulation of the fields of dispersion of pollutants in the surface air layer from flare installations on the territory of the Mamontovskoye field of the Nefteyugansk district of the KhMAO is suggested. It includes the simulation of pollutant concentrations (carbon monoxide, nitrogen dioxide, and soot) with the use of UPRZA Eco-Center software based on terrestrial data on the content of organic compounds in soils and satellite data (AIRS) on greenhouse gas concentrations. This approach enables comprehensive studies of the state of the natural environment in remote northern oil and gas producing areas on the basis of satellite and ground-based data.