

УДК 910:504.06

DOI 10.17513/use.38264

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ АЭРОДРОМОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ)

Маленёв А.И.

*ФГКВООУ ВПО «Военный учебно-научный центр «Военно-воздушная академия»
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж,
e-mail: aleksandr-malenyov@yandex.ru*

Данный материал охватывает вопросы совершенствования методов экологического контроля над состоянием атмосферы в непосредственной близости от аэропортовых комплексов. Чистый атмосферный воздух представляет собой ключевую составляющую благополучия личного состава, задействованного в обеспечении авиационной деятельности на объектах гражданской авиации. Критерии оценки атмосферного воздуха охватывают спектр параметров, которые напрямую подвержены влиянию атмосферных условий, причем их изменения зачастую диктуются характеристиками воздушных потоков, складывающимися в зонах активности источников загрязнения. Из-за повышенной интенсивности полетов наблюдается эмиссия множества вредных элементов, чьим источником служат в основном самолеты, объекты инфраструктуры и автотранспорт, что приводит к негативному воздействию на объекты окружающей среды. Среди выбрасываемых вредных примесей находятся такие химические соединения, как этилен, формальдегид, этил, ацетон, бутен, метан, различные углеводороды, а также оксиды углерода, азота и серы, которые представляют угрозу для здоровья людей. Актуальность исследования обусловлена недостаточной изученностью распространения токсикантов атмосферным воздухом с учетом рельефа местности, типа подстилающей поверхности и геометрии форм зданий и сооружений. Целью исследования является повышение качества экологического мониторинга путем учета дополнительных параметров распространения вредных примесей на приаэродромных территориях. При этом учитывались застройки различной плотности, физико-географические и климатические условия, а также особенности эксплуатации аэродрома. В статье представлены открытые для опубликования результаты экологического мониторинга приаэродромной территории типичного аэродрома государственной авиации. Отбор и анализ проб проводился сертифицированным центром лаборатории ФБУЗ центра гигиены и эпидемиологии. Рассчитана общая масса выбросов вредных примесей в приземном слое атмосферы от воздушных судов за год при работе основных типов авиационных двигателей. Выделены наиболее экологически опасные зоны с повышенной концентрацией вредных примесей, с учетом которых рекомендуется располагать посты экологического мониторинга. Рассчитанные данные подтверждены экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: аэродром, вредные примеси, экологический риск, загрязняющие вещества

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL MONITORING PARAMETERS (USING THE EXAMPLE OF THE TERRITORIES OF AIRFIELDS OF STATE AVIATION)

Malenev A.I.

*Military Training Scientific Center «Air Force Academy»
named after professor N.E. Zhukovskiy and Yu.A. Gagarin, Voronezh,
e-mail: aleksandr-malenyov@yandex.ru*

This material covers issues of improving methods of environmental control over the state of the atmosphere in the immediate vicinity of airport complexes. Clean atmospheric air is a key component of the well-being of personnel involved in ensuring aviation activities at civil aviation facilities. The criteria for assessing atmospheric air cover a range of parameters that are directly affected by atmospheric conditions, and their changes are often dictated by the characteristics of air flows that develop in the zones of activity of pollution sources. Due to the increased intensity of flights, there is an emission of many harmful elements, the sources of which are mainly aircraft, infrastructure and vehicles, which leads to a negative impact on the environment. Among the harmful impurities emitted are chemical compounds such as ethylene, formaldehyde, ethyl, acetone, butene, methane, various hydrocarbons, as well as oxides of carbon, nitrogen and sulfur, which pose a threat to human health. The relevance of the study is due to insufficient knowledge of the distribution of toxicants by atmospheric air, taking into account the terrain, the type of underlying surface and the geometry of the shapes of buildings and structures. The purpose of the study is to improve the quality of environmental monitoring by taking into account additional parameters of the distribution of harmful impurities in the airfield areas. This took into account: buildings of varying densities, physical-geographical and climatic conditions, as well as the operating features of the airfield. The article presents the results of environmental monitoring of the airfield area of a typical state aviation airfield, open for publication. Sampling and analysis were carried out in a certified laboratory center of the Federal Budgetary Health Institution Center for Hygiene and Epidemiology. The total mass of emissions of harmful impurities in the surface layer of the atmosphere from aircraft per year during the operation of the main types of aircraft engines has been calculated. The most environmentally hazardous zones with a high concentration of harmful impurities have been identified, taking into account which it is recommended to locate environmental monitoring posts. The calculated data are confirmed by experimental studies.

Keywords: airfield, harmful impurities, environmental risk, pollutants

Аэродромы государственной авиации, окруженные типичными застройками различной степени плотности и располагающиеся неподалеку от населенных пунктов, являются одними из наиболее малоизученных источников экологической опасности. Сложность этой проблемы обусловлена тем, что в результате активного использования аэродромов государственной авиации происходит выброс в атмосферу значительных объемов токсичных загрязнителей. Источниками эмиссии служат не только воздушные суда, но и объекты инфраструктуры, а также автотранспорт, привлекаемый для обеспечения полетов государственной авиации [1, с. 42]. Среди выделяемых веществ находятся такие опасные, как этилен, формальдегид, этилбензол, ацетон, бутен, метан и различные углеводороды, включая оксиды углерода, азота, серы, что серьезно вредит здоровью персонала. Распространение этих веществ может охватывать обширные территории и осуществляется двумя основными способами: посредством диффузии и с помощью направленного переноса. Причем изменение концентрации вредных примесей в пространстве и во времени в существенной степени будет зависеть от места выброса, характера подстилающей поверхности, наличия препятствий и застроек, метеорологической обстановки в районе выброса. Учет этих факторов в моделях позволит заблаговременно выявить опасные зоны с высокой концентрацией вредных примесей при различных направлениях и скоростях ветра, а также обеспечить рациональный мониторинг экологического состояния района аэродрома и прилегающей местности [2, с. 38; 3, с. 76].

Целью исследования является повышение качества экологического мониторинга путем учета дополнительных параметров распространения вредных примесей на примере территорий аэродромов государственной авиации.

Материалы и методы исследования

В настоящее время мониторинг вредных примесей осуществляется различными способами: измерением, наблюдением, моделированием на основе данных измерений и т.д. Особые трудности вызывает изучение процессов воздействия на окружающую среду, происходящих над сложными ландшафтами с неравномерным рельефом и разнообразной застройкой, из-за проблем с их точным описанием и стандартизацией. Существенное влияние на экологию оказыва-

ет государственная авиация на всех этапах ее жизнедеятельности: это эксплуатация и ремонт как самого воздушного судна, так и обслуживающей его спецтехники.

При сгорании топлива в двигателях воздушных судов образуются выхлопные газы, которые содержат воздух, прошедший через двигатель, который практически не изменяет своего химического состава. В момент полного сгорания авиационного топлива образуются углекислый газ и водяной пар. Но так как авиационное топливо по ряду причин сгорает не полностью, образуются такие вещества, как углеводороды, СО, водород и копоть. Также в топливе содержится сера, а при сгорании образуются ее окислы. И другие химические элементы, входящие в состав камеры сгорания двигателя, и металлы, содержащиеся в топливе [4, с. 120].

Эти двигатели являются источниками большого выброса вредных примесей. В условиях отсутствия или при малых значениях ветра формируются зоны смога, в которых накапливаются вредные вещества, особенно в режимах взлетно-посадочного цикла, когда практически невозможно обеспечить благоприятные условия сгорания авиационного топлива [5, с. 131; 6, с. 94; 7, с. 677].

Отбор и анализ материалов вредных примесей (окись углерода СО, углеводороды СН, окислы азота NO_x, серы SO_x и частиц авиационного керосина) для исследования проводился по установленным стандартам и методикам сертифицированной лаборатории ФБУЗ центра гигиены и эпидемиологии г. Воронежа в период с 2019 по 2020 г.

Результаты исследования и их обсуждение

Планируется разработать методику для выявления параметров загрязняющих веществ в окрестностях аэродромов государственной авиации.

Использование газотурбинных двигателей в режиме взлета и посадки летательного аппарата приводит к значительному загрязнению вредными веществами (рис. 1).

В ходе эксплуатации газотурбинных двигателей отработанные газы постепенно охлаждаются и конденсируются в ветровом потоке, в результате чего происходит каплеобразование неотработанных газов авиационного топлива. Радиус капель авиационного керосина может составлять от 50 до 700 мкм, а мелкодисперсные его частицы могут распространяться до 2500 м от точечного источника.

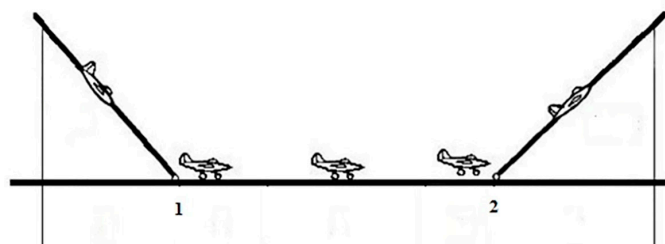


Рис. 1. Основные режимы цикла, влияющие на загрязнение приземного слоя в районе аэродрома:
1 – посадка, 2 – взлет

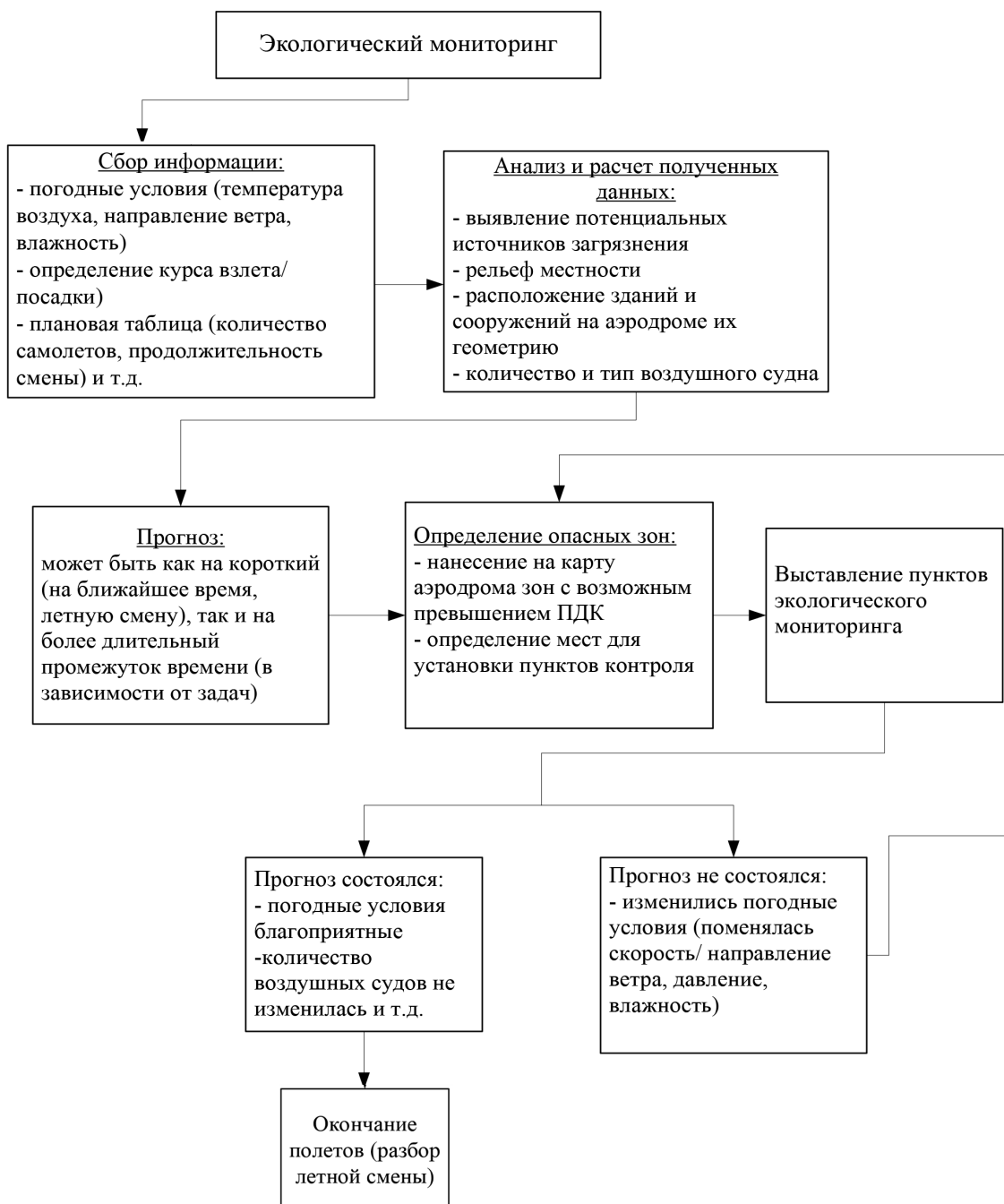


Рис. 2. Схема экологического мониторинга воздушных масс на территории аэродрома с учетом особенностей источника загрязнения

На концентрацию вредных примесей влияет наличие ветра, рельеф местности, плотность аэродромных застроек, а также интенсивность использования аэродромов государственной авиации [8, с. 131; 9, с. 46]. На рис. 2 представлена схема экологического мониторинга воздушных масс на территории аэродрома государственной авиации с учетом особенностей источника загрязнения.

Основные этапы экологического мониторинга воздушных масс на территории аэродрома государственной авиации с учетом особенностей источника загрязнения заключаются в следующем:

На начальном этапе осуществляется всесторонний сбор информации и анализ участка исследования для выявления потенциальных источников загрязнений, а также изучаются особенности местности, включая конфигурацию рельефа, расположение зданий и других объектов, их геометрическую форму, удаленность от источника выброса вредных примесей и прочие элементы, необходимые для расчетов. Производится измерение температуры и относительной влажности воздуха с использованием сертифицированных гидрометеорологических приборов в приземном слое.

С использованием выражения (1) определим значение концентрации вредных примесей в приземном слое при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника:

$$C_{0i} = (4M_{iBП} t) / (\pi D^2 V_{в.п}), \quad (1)$$

где $M_{iBП}$ – масса выброса взлет (посадка), t – время работы двигателя в заданном режиме, D – диаметр сопла, $V_{в.п}$ – скорость ветрового потока.

$$C_0 = \sum C_{0i}. \quad (2)$$

В процессе всесторонней оценки уровня загрязнения применяется методика, основанная на преобразовании концентраций разнообразных вредных веществ к эквиваленту оксида углерода, согласно уравнению, представленному ниже:

$$\sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n k_{np i} C_{CO}, \quad (3)$$

где $k_{np i}$ – коэффициент, который используется для преобразования концентрации i -го загрязнителя к эквивалентной концентрации оксида углерода:

$$k_{np CO} = 1, k_{np NOx} = 41,2, k_{np CnHm} = 3,2.$$

Использование разработанного подхода для комплексного анализа экологических рисков аэропортов способствует точному определению уровня влияния авиационного загрязнения на природу.

Рассчитывается или измеряется начальная концентрация выброса. Определяется скорость и направление ветра в районе источника выброса, также рассчитывается поле скоростей и значение концентрации примесей для заданного района исследования с учетом особенностей рельефа, наличия растительности, геометрических характеристик.

Далее осуществляется прогноз, определяются зоны с концентрацией вредных веществ, превышающей ПДК для окиси углерода (CO (ПДК_{мр} = 5,0 ПДК_{сс} = 3,0), углеводород CH (ПДК_{мр} = 5,0 ПДК_{сс} = 1,5), окислы азота NO_x (ПДК_{мр} = 0,085, ПДК_{сс} = 0,04), окислы серы SO_x (ПДК_{мр} = 0,05 ПДК_{сс} = 0,5).

На следующем этапе в наиболее вероятных зонах с превышением ПДК устанавливаются пункты контроля, производится серия измерений концентрации вредных веществ, значения которых сравниваются с расчетными. При небольших различиях в среднеквадратическом отклонении результатов (не более значения естественной изменчивости концентрации вредных веществ) замеров с данными модели принимается решение о доверии к данным.

Осуществляется прогноз на заданный срок скорость и направление ветра на высоте распространения примеси. В случае его отклонения от фактических значений производится перерасчет поля концентрации вредных веществ. При изменении направления ветра положения пунктов контроля корректируются.

При выявлении районов с превышением ПДК принимаются меры к снижению негативного влияния вредных веществ на личный состав. В таблице указана общая масса выбросов вредных примесей в приземном слое атмосферы от воздушных судов за год в районе интенсивного использования типового аэродрома государственной авиации расположенного в Центральном федеральном округе.

Анализ таблицы показывает, что масса выбросов варьируется в диапазоне от 80 до 62244 кг в год. Такое количество вредных веществ, при их локализации в отдельных местах на аэродроме, может оказать значительный негативный эффект на состояние летного и обслуживающего персонала (рис. 3).

Общая масса выбросов вредных примесей в приземном слое атмосферы
от воздушных судов за год

Тип двигателя	Общая масса выбросов вредных примесей, $M_{\text{ВП}}$, в приземном слое атмосферы от воздушных судов за год				
	Оксид углерода CO	Углеводороды CH	Оксиды азота NO _x	Оксиды серы SO _x	Частицы авиационного керосина
2ТРДФ АЛ-35	7470	1725	48975	693,75	2636,1
Д-30	9360	2190,24	62244	866,3	3464,7
Д-36	246	111	11826	80,61	322,6
Д-30КУ	5168,8	1260,96	22498,48	403,9	1615,5
Итого	22244,8	5287,2	145543,48	2044,56	8038,9

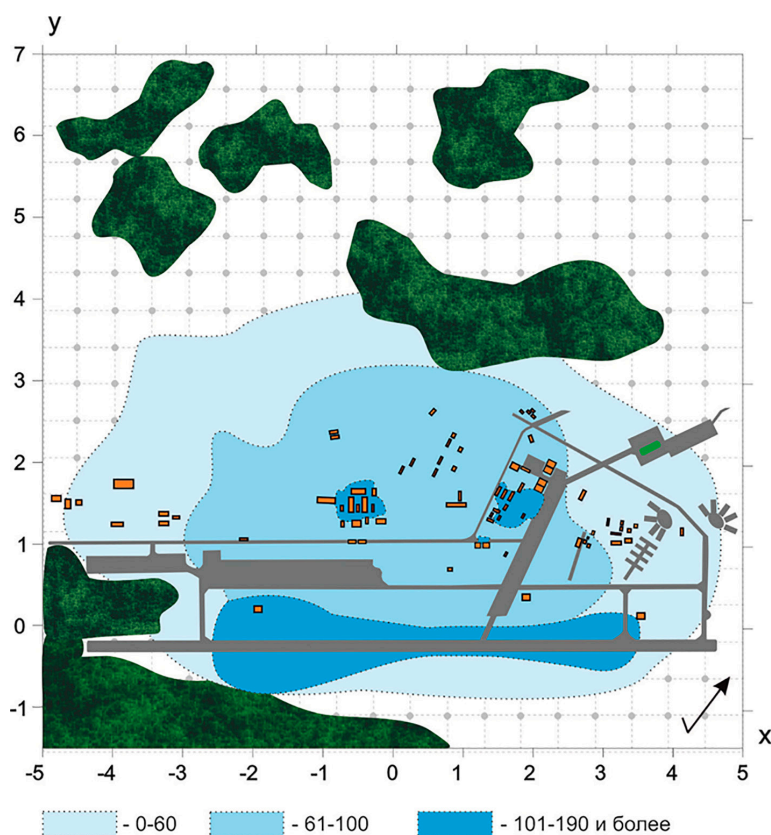


Рис. 3. Зоны с повышенными значениями вредных примесей за год в районе аэродрома

Для проведения оперативного экологического мониторинга необходимо предложить методику оценки возможного превышения ПДК в ожидаемых метеоусловиях для каждой зоны аэродрома. Такой подход также позволит рассчитать годовую нагрузку на исследуемую территорию и выявить наиболее опасные аэродромные зоны для разработки рекомендаций по минимизации нахождения в них персонала аэродрома.

Во время работы авиационных двигателей в приземном десятиметровом слое воз-

никают повышенные значения концентрации вредных веществ, что подтверждается многократными замерами проб воздуха в различных точках аэродрома. Для определения значения концентрации вредных веществ воспользуемся уравнением

$$C = Q \exp^{f_x f_y}, \quad (4)$$

где C – расчетные значения уровня концентраций загрязняющих элементов, Q – интенсивность эмиссий загрязняющих веществ от авиационного двигателя [10, с. 115],

$f_x f_y$ – коэффициент для описания процесса разбавления облака контаминантов при переносе его по оси абсцисс и координат в контрольных точках.

Мощность выброса вредных веществ воздушного судна определяется по формуле

$$Q = n \sum_{i=1}^N W_j t_j, \quad (5)$$

где n – количество двигателей, установленных на воздушное судно, W_j – скорость эмиссии, t_j – время работы двигателя в j -м режиме.

На рис. 4 показано распространение вредных примесей от точечных источников (самолета) при движении по взлетно-посадочной полосе с интервалом 10 м по оси X [11, с. 30].

Выбросы от точечных источников распространяются атмосферным воздухом, при этом на характер их распространения значительно влияет геометрия и плотность застройки на аэродроме.

Из рис. 5 очевидно, что архитектурная конфигурация и планировка зданий на типовом аэродроме государственной авиации, расположенном в Центральном федеральном округе, а также характеристики подстилающего ландшафта играют ключевую роль в процессе диффузии и концентрации загрязняющих веществ в районе аэродрома [12, с. 25]. В то время как здания и сооружения, расположенные на его территории, способствуют неоднородному распределению вредных примесей.

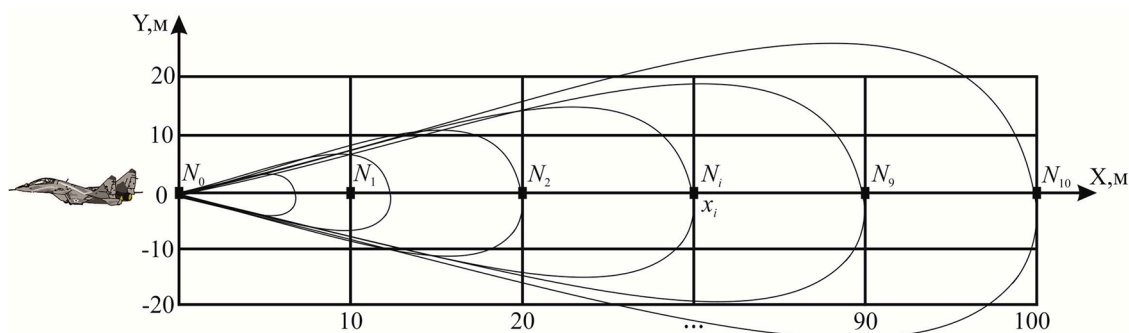


Рис. 4. Схема распространения вредных примесей при взлете (посадке) воздушного судна как совокупность точечных источников

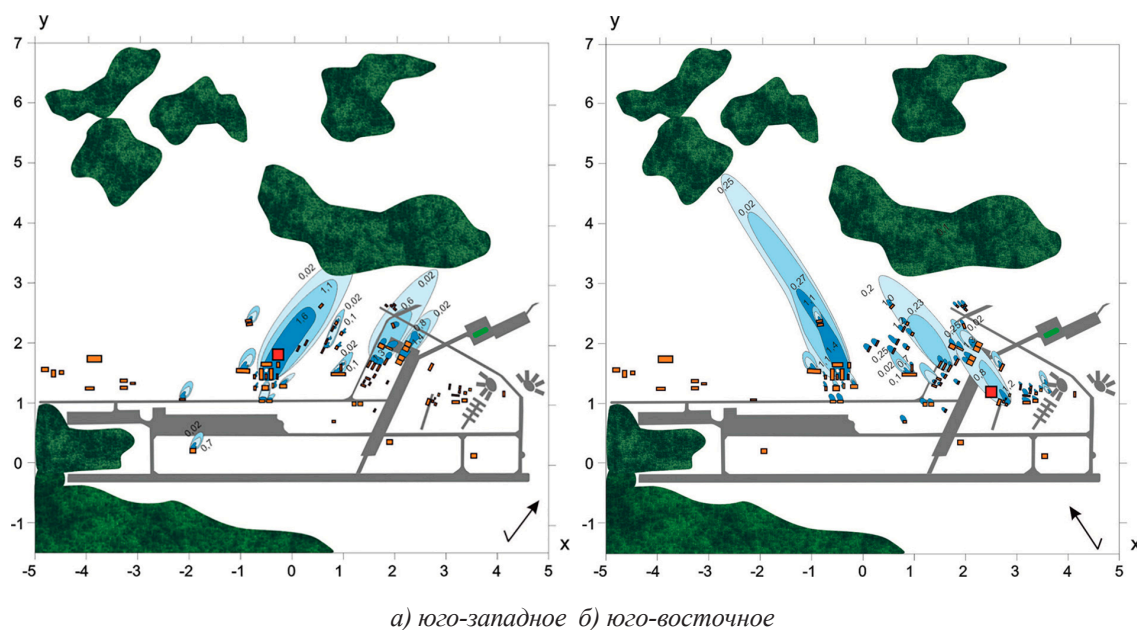


Рис. 5. Изолинии модуля вектора относительной скорости потока в сравнении с потоком при отсутствии зданий и лесных массивов при а) юго-западном, б) юго-восточном направлении ветра на высоте 10 м, где ■ – пункт контроля

Особенно высокие уровни загрязнения наблюдаются в зонах, где здания сгруппированы вплотную друг к другу, что способствует застою и повышенной концентрации вредных веществ.

В зоне лесопосадок скорость ветра снижается вследствие взаимодействия с растительностью, что приводит к уменьшению концентрации вредных веществ в воздухе. Анализируя данные, полученные в ходе численного моделирования с применением микромасштабных моделей, можно выявить увеличение интенсивности турбулентности у земной поверхности в ветровых потоках, особенно за строениями на их подветренной стороне и в районе насаждений.

Как видно из рисунка, форма, геометрия зданий и сооружений, характер подстилающей поверхности оказывают существенное влияние не только на перенос вредных примесей в районе аэродрома, но и на их концентрацию. Здания вносят существенный вклад в распределение вредных примесей. Причем максимальная концентрация образуется за зданиями, которые располагаются близко друг к другу.

Заключение

Таким образом, исследование позволяет определить характеристики распространения вредных примесей в районе расположения аэродрома государственной авиации, рассчитать динамику изменения концентраций как в непосредственной окрестности от источника вредных примесей, так и на удалении от него. Имея информацию о ветровых характеристиках, с учетом начальных и граничных условий, используя данный алгоритм, можем рассчитать изменение концентрации вредных примесей в различных точках пространства. Зная места расположения неблагоприятных экологических зон на территории аэродромов, появляется возможность точнее планировать расположение пунктов контроля для

повышения качества экологического мониторинга воздуха.

Список литературы

1. Косинова И.И., Фонова С.И., Базарский О.В., Плакшицкая И.П. Комплексная оценка геосферы жизнедеятельности населения Липецкого промрайона: монография. Воронеж: ВГАСУ, 2014. 175 с.
2. Косинова И.И., Фонова С.И. Математическая модель для прогнозирования пространственного распределения веществ на городских магистралях // Инженерные изыскания. 2015. № 7. С. 24–27.
3. Базарский О.В., Косинова И.И., Фонова С.И. Математическое моделирование загрязнения приповерхностных отложений аэрозольными частицами // Инженерные изыскания. 2015. № 5–6. С. 76–79.
4. Иванов В.И. Определение уровня загрязнения в районе аэродрома при работе авиадвигателей // Межвузовский сборник «Основные вопросы метеобеспечения гражданской авиации». Л.: ОЛАГА, 1982. С. 119–122.
5. Инструкция метеоподразделениям ВВС о порядке ведения радиационного и химического наблюдения, отбора проб атмосферных аэрозолей и подготовки метеорологических данных для оценки радиационной и химической обстановки. М.: Воениздат СССР, 1979. С. 15–17.
6. Старченко А.В., Данилкин Е.А., Нутерман Р.Б., Терентьева М.В. Применение микромасштабной метеорологической модели для исследования структуры течения над взлетно-посадочной полосой аэропорта // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 5. С. 91–100.
7. Исаев С.А., Белоусова Л.Ю., Баранов П.А. Численный анализ ветрового режима в окрестности аэропорта Пулково // Инженерно-физический журнал. 1999. Т. 72. № 4. С. 672–678.
8. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Маслова Н.В. Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда: монография. М.: Инфра-М, 2022. С. 130–134.
9. Рымаков А.Г. Рассеивание вредных примесей в воздухе приземного слоя: учебно-методическое пособие. М.: МИСИ-МГСУ, 2022. С. 41–49.
10. Маленёв А.И., Драбо А.И., Пигарев А.Е., Лебедев А.В. Математическое моделирование турбулентного ветрового потока // Успехи современной науки. 2017. Т. 9, № 3. С. 113–118.
11. Фонова С.С. Научно-методический аппарат оценки экологического риска загрязнения тяжелыми металлами в зоне дорог первой категории: автореф. дис. ... канд. географ. наук. Воронеж, 2017. 36 с.
12. Маленёв А.И., Драбо А.И., Пигарев А.Е., Сотникова О.А., Мурашова Л.В. Математическое моделирование векторного поля ветра при обтекании искусственных сооружений // Вестник ВГУ. Системный анализ и информационные технологии. 2015. № 4. С. 22–30.