

Гидрометеорология и экология. 2026. № 83. С. 255—268.
Hydrometeorology and Ecology. 2026;(83):255—268.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Научная статья
УДК [551.509.615+551.509.616]:629.73-519
doi: 10.33933/2713-3001-2026-83-255-268

Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в работах по воздействиям на переохлажденные облака и туманы

***Степан Владимирович Антонов, Сергей Михайлович Двоеглазов,
Евгений Николаевич Николаев, Андрей Михайлович Петрунин,
Николай Александрович Платонов, Андрей Викторович Частухин,
Георгий Георгиевич Щукин***

АНО «Агентство атмосферных технологий», Москва, Россия, attech@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы применения БПЛА в работах по искусственному регулированию осадков (ИРО) и рассеянию переохлажденных туманов. Приводятся характеристики БПЛА, позволяют применять их в работах по ИРО, дано описание комплекса средств воздействия и измерительной аппаратуры. Анализируются результаты численного моделирования процесса распространения аэрозоля йодистого серебра при воздействии на облака с БПЛА пиропатронами ПВ-26 и рассеяния переохлажденного тумана при воздействии на него жидким азотом.

Ключевые слова: воздействия, беспилотные летательные аппараты, средства воздействия, переохлажденные облака и туманы.

Для цитирования: Антонов С. В., Двоеглазов С. М., Николаев Е. Н. и др. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в работах по воздействиям на переохлажденные облака и туманы // Гидрометеорология и экология. 2026. № 83. С. 255—268. doi: 10.33933/2713-3001-2026-83-255-268.

Original article

Prospects for the use of unmanned aerial vehicles in work on influencing supercooled clouds and fogs

Stepan V. Antonov, Sergei M. Dvoeglazov, Evgeniy N. Nikolaev, Andrey M. Petrunin, Nikolai A. Platonov, Andrey V. Chastukhin, Georgy G. Shchukin

ANO “Agency of Atmospheric Technologies”, Moscow, Russia, attech@mail.ru

Summary. In recent years, many organizations engaged in research in cloud physics and active influences (AE) have increasingly focused on exploring the potential of unmanned aerial vehicles (UAVs) in experimental and industrial applications. The widespread use of UAVs in the military field in recent years has given a powerful impetus to the development of this area of experimental meteorology. This creates certain prerequisites for the use of this type of aircraft in AE studies on meteorological processes. An additional factor determining the attention paid to the use of such aircraft in AE studies is the observed reduction in the fleet of meteorological laboratory aircraft and aircraft equipped with AE tools. Although the development of civilian aircraft in Russia has recently received increased attention, replacing aircraft in AE studies that have reached the end of their service life will pose a major challenge in the coming years. This paper examines the use of UAVs in artificial precipitation regulation (APR) and the dispersal of supercooled fog. The feasibility of using UAVs with various types of reagents is assessed, the characteristics of the UAVs proposed for use in these studies are presented, and a description of the active intervention system using various reagents and measuring equipment for obtaining operational information on cloud and fog characteristics is provided. The results of numerical modeling of the spread of silver iodide aerosol when UAVs impact clouds with PV-26 pyrotechnic cartridges and the dispersal of supercooled fog from UAVs when exposed to liquid nitrogen are presented. These results demonstrate the feasibility and effectiveness of using the selected UAVs in atmospheric anti-aircraft operations.

Keywords: influences, unmanned aerial vehicles, means of influence, supercooled clouds and fogs.

For citation: Antonov S. V., Dvoeglazov S. M., Nikolaev E. N. et al. Prospects for the use of unmanned aerial vehicles in work on influencing supercooled clouds and fogs *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2026;(83):(255—268). doi: 10.33933/2713-3001-2026-83-255-268. (In Russ.).

Введение

Широкое использование БПЛА в качестве беспилотного транспорта для логистических целей [1, 2], в сельском хозяйстве [3], для мониторинга окружающей среды [4, 5, 6, 7], дистанционного зондирования атмосферы [8, 9, 10] и др. обусловило необходимость проведения исследований по обоснованию возможностей применения их для воздействия на атмосферные процессы и явления. Следует отметить, что уже более 10 лет Агентством атмосферных технологий с учетом имеющегося многолетнего опыта самолетных воздействий [11, 12] ведутся исследования возможности применения БПЛА в работах по воздействию на атмосферные процессы [13].

Наиболее перспективным представляется применение БПЛА в работах по ИРО, поскольку технология этих работ достаточно отработана и уже не один

десяток лет показывает положительные результаты как в работах по улучшению погодных условий, так и в работах по искусственному увеличению осадков. Дополнительным фактором, определяющим внимание к вопросу применения летательных аппаратов в работах по ИРО, является наблюдаемое в последние годы сокращение в стране самолетного парка.

Другим перспективным направлением является использование БПЛА в работах по борьбе с туманами. В первую очередь это относится к переохлажденным туманам, поскольку технология их рассеяния наземными генераторами жидкого азота достаточно эффективно применялась российскими специалистами на автодорогах и в аэропортах [11]. В тоже время опыт проведенных работ показал, что применение наземных генераторов, даже в мобильном варианте, имеет существенные ограничения из-за рельефа местности и отсутствия плотной сети дорог. Эти ограничения могут быть преодолены при использовании БПЛА для рассеяния переохлажденных туманов.

Целью работы является обоснование возможности применения БПЛА в работах по воздействию на переохлажденные облака и туманы как нового направления в экспериментальной метеорологии, для чего приведены результаты анализа характеристик существующих российских БПЛА и оценивание пригодности их для выполнения такого рода работ. Методами численного моделирования исследованы процессы распространения йодистого серебра при проведении воздействия на переохлажденные облака и процесс воздействия на переохлажденный туман жидким азотом в конкретных метеорологических ситуациях, приведены примеры созданных в Агентстве комплексов технических средств воздействия и измерительной аппаратуры для БПЛА.

Цель работы состоит в обосновании возможности применения БПЛА в работах по воздействию на переохлажденные облака и туманы.

Основные задачи:

- обзор применения БПЛА в работах по искусственному регулированию осадков и рассеянию переохлажденных туманов;
- использование БПЛА при моделировании воздействия на переохлажденные облака и туманы реагентами;
- характеристика комплексов технических средств воздействия и измерительной аппаратуры для БПЛА.

Обзор применения БПЛА в работах по искусственному регулированию осадков

Рассматривая перспективы применения БПЛА в работах по ИРО, необходимо учитывать их особенности:

- крейсерская скорость большинства БПЛА ниже пилотируемых самолетов;
- управление работой технических средств воздействия осуществляется с земли по радиоканалу;
- большинство технических средств размещается на внешней подвеске БПЛА, в том числе устройство для порционного сброса порошкообразного реагента;

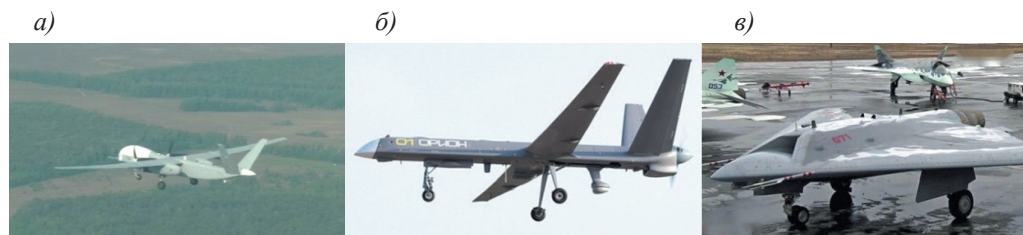


Рис. 1. Беспилотные летательные аппараты: а) «Альтиус»; б) «Орион»; в) «Охотник».

Fig. 1. Unmanned aerial vehicles: a) «Altius»; b) «Orion»; c) «Hunter».

— более жесткие ограничения по массе полезной нагрузки по сравнению с самолетами;

— полеты часто выполняются в условиях высокой влажности и обледенения.

С учетом вышеизложенного лишь некоторые производимые в России беспилотные системы могут быть использованы в работах по ИРО. При этом наиболее критическими параметрами являются продолжительность и высота полета, а также их полезная нагрузка.

На рис. 1. представлены 3 беспилотных летательных аппарата: Альтиус, Орион, Охотник, а в табл. 1 приведены основные летно-технические характеристики, которые позволяют применять их в работах по ИРО.

Таблица 1

Летно-технические характеристики тяжелых российских БПЛА
Heavy Russian UAVs

Летно-технические характеристики / Тип БПЛА	«Альтиус»	«Орион»	«Охотник»
Продолжительность полёта, ч	48	24	5—6
Крейсерская скорость, км/ч	200	200	1000
Практический потолок, м	12 000	7500	18000
Полезная нагрузка, кг	2000	200	До 8000

Сотрудниками Агентства АГТЕХ выполнена оценка возможности применения вышеперечисленных БПЛА в работах по ИРО с применением льдообразующих реагентов (пиропатронов ПВ-26 и генераторов САГ-26 йодистого серебра), хладореагентов (гранулированная углекислота и жидкий азот) и порошкообразных реагентов. На основе проведенного численного моделирования выработаны основные технические требования к средствам воздействия и начата работа по созданию их опытных образцов.

Обзор применения БПЛА в работах по рассеянию переохлажденных туманов

Перспективным представляется также применение БПЛА в работах по рассеянию переохлажденных туманов. Высоты полетов и условия эксплуатации



Рис. 2. Беспилотные летательные аппараты: а) OG-25; б) «Енисей-М».

Fig. 2. Unmanned aerial vehicles: a) OG-25; б) «Yenisey-M».

БПЛА позволяют использовать в этих работах оборудованные средствами воздействия квадрокоптеры и небольшие летательные аппараты самолетной схемы.

В табл. 2 приведены основные характеристики легких российских БПЛА, которые планируется использовать в экспериментах по рассеянию переохлажденных туманов (рис. 2).

Таблица 2

Летно-технические характеристики легких российских БПЛА

Light Russian UAVs

Летно-технические характеристики / Тип БПЛА	OG-25	Енисей-М
Продолжительность полёта	3 ч	20 мин
Крейсерская скорость, км/ч	100	50
Практический потолок, м	5500	500
Полезная нагрузка, кг	10	10

Использование БПЛА при моделировании воздействия на переохлажденные облака и туманы реагентами

При оценке перспектив использования БПЛА в работах по ИРО выполнено математическое моделирование процесса распространения различных видов реагентов при воздействии на различные типы облаков. Для этого использовалась созданная в Агентстве АТТЕХ нестационарная трёхмерная численная модель «SeedDisp», предназначенная для расчёта переноса реагента в заданном трехмерном поле ветра. Модель ограничена мезомасштабной областью размерами по горизонтали от нескольких десятков до нескольких сотен километров и по вертикали включает всю тропосферу. В модели учитывается рельеф местности. Характеристики атмосферного пограничного слоя рассчитываются с помощью метода энергетического баланса и теории подобия. Исходными данными для расчёта

являются данные наземных метеорологических наблюдений и данные радиозондирования. При расчёте переноса реагента в поле скорости ветра комбинируются лагранжев и эйлеров подходы. При решении уравнения переноса частиц на боковых границах области используются граничные условия, которые зависят от направления переноса воздуха через границу области.

Для моделирования в работе выбрана метеорологическая ситуация, имевшая место в Республике Татарстан 6 мая 2023 г., когда в приземном слое наблюдался северо-западный перенос со скоростью 10—15 км/ч, а на высоте 3000—4000 м (высоты полета воздействия) наблюдался ветер юго-западного направления со скоростью 55—80 км/ч. Температура воздуха у земли была 9 °С, нулевая изотерма находилась на высоте 1000 м, верхняя граница на высоте 4000 м.

На рис. 3 приведены результаты численного моделирования распространения частиц йодистого серебра при воздействии с БПЛА пиропатронами ПВ-26.

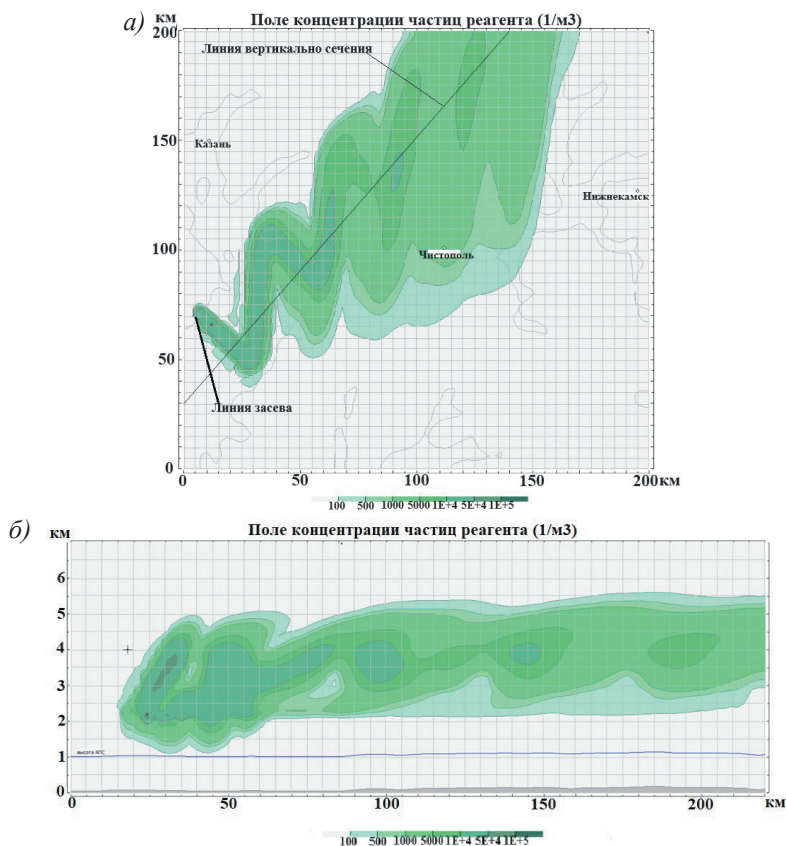


Рис. 3. Концентрации льдообразующих частиц в горизонтальной (а) и вертикальной (б) плоскостях через 3 часа после начала воздействий ПВ-26.

Fig. 3. Concentrations of ice-forming particles in the horizontal (a) and vertical (b) planes 3 hours after the start of exposure to PV-26.

Из рис. 3 видно, что зоны распространения реагента с концентрацией 10^4 частиц/ м^3 и выше при воздействии располагались в слое 2000—4500 м в переохлажденной части облаков, что приводит к изменению микрофизических и динамических процессов в облаках, позволяющих повысить результативность процессов осадкообразования. При этом для достижения таких значений концентрации реагента требуется около 200 пиропатронов ПВ-26.

Для моделирования воздействия на переохлажденный туман с БПЛА путем диспергирования жидкого азота была использована разработанная в Агентстве АТТЕХ нестационарная трёхмерная численная модель «Fog Seeding» [14]. Нестационарная трёхмерная численная модель представляет собой модель эволюции тумана при искусственном рассеянии его в пограничном слое атмосферы в области масштабом от нескольких сотен метров до нескольких километров. Для расчета трёхмерных полей видимости используются значения температуры, направления и скорости ветра, дальности видимости. На основе этих значений определяются трёхмерные поля метеорологических величин, необходимые для расчета процесса рассеяния тумана. Процесс рассеяния тумана описывается в модели с использованием системы уравнений, определяющих изменение во времени и пространстве температуры и влажности воздуха, водности тумана, концентрации ледяных частиц, вырабатываемых генераторами, а также их массы. Эти величины необходимы для расчета конденсационного роста ледяных кристаллов за счет испаряющихся капель тумана и распространения эффекта просветления в пространстве.

Решение уравнений модели выполняется с помощью численных конечно-разностных методов. Расчеты выполняются на конечно-разностной сетке, имеющей равные шаги в обоих направлениях по горизонтали $\Delta y = \Delta x$, и переменный логарифмически увеличивающийся шаг по вертикали Δz , при этом вблизи поверхности земли $\Delta z = 1$ м.

В качестве иллюстрации результатов численного моделирования воздействия на переохлажденный туман рассмотрен случай для реальных синоптических условий, наблюдавшихся в Московской области 7 ноября 2018 г., в районе аэродрома Чкаловский, которые стали причиной образования сильного тумана с дальностью видимости менее 50 м.

На рис. 4 приведены результаты численного моделирования воздействия на переохлажденный туман (изменение дальности видимости) через 60 мин после начала воздействия; также наблюдается эффект от воздействия на переохлажденный туман, проявляющийся в увеличении дальности видимости до значений 500—1000 м.

Результаты численного моделирования показывают принципиальную перспективность применения БПЛА в работах по ИРО и рассеянию переохлажденных туманов.

Комплекс средств воздействия, размещенных на БПЛА

Наиболее перспективным с точки зрения реализации представляется разработка комплекса воздействия с БПЛА пиротехническими генераторами (пиропатронами) йодистого серебра. Основные элементы данного комплекса отработаны

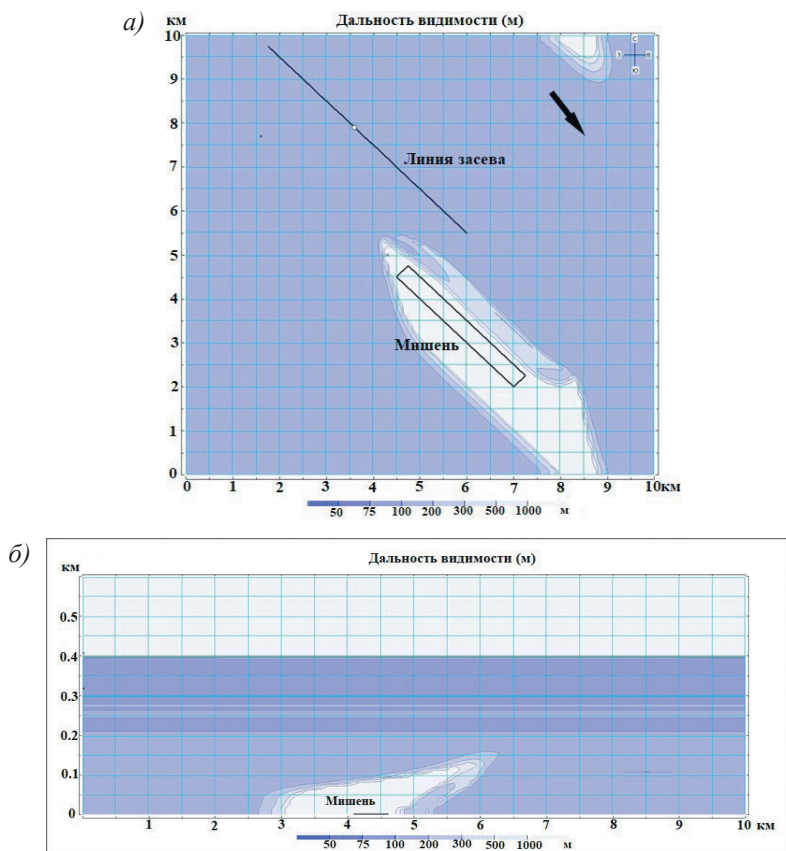


Рис. 4. Результаты численных расчетов воздействия на туман через 60 минут:
 а) горизонтальное сечение; б) вертикальное сечение.

Fig. 4. Results of numerical calculations of the impact on fog after 60 minutes:
 a) horizontal section; b) vertical section.

Агентством АТТЕХ в самолетном комплексе «Дождь» и системе передачи данных «земля—борт—земля».

Первые эксперименты по подвеске пиротехнических аэрозольных генераторов йодистого серебра на БПЛА были проведены в Агентстве АТТЕХ в 2017 г., когда управляемый с земли комплекс генераторов САГ-26 был размещен на гексакоптере DJI S900 (рис. 5 а). В 2025 г. Агентством создан и прошел с положительными результатами опытный образец устройства воздействия пиротехническими аэрозольными генераторами САГ-26 для БПЛА OG-25 (рис. 5 б).

При создании устройств для воздействия на облака грубодисперсными порошками целесообразно использовать опыт, накопленный Агентством АТТЕХ при применении в работах по метеозащите и при оборудовании самолета Су-30 устройствами КМГУ-2, приспособленными для сброса упаковок с грубодисперсным

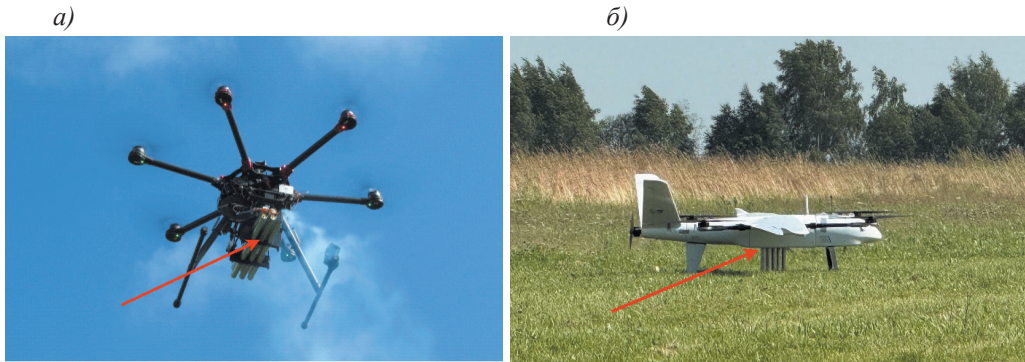


Рис. 5. Комплекс САГ-26 на БПЛА: а) DJI S900; б) OG-25.

Fig. 5. SAG-26 complex on UAVs: a) DJI S900; b) OG-25.

порошком. Аналогичные контейнеры, дооборудованные дистанционной системой управления сбросом, могут использоваться для порционного сброса упаковок с порошкообразными реагентами и углекислотой с борта БПЛА.

Работы по созданию устройств для воздействия с БПЛА жидким азотом ведутся в Агентстве АГТЕХ с 2017 г. Для экспериментальной отработки комплекса рассеяния переохлажденных туманов в Агентстве созданы несколько опытных образцов генераторов мелкодисперсных частиц льда, которые устанавливаются на БПЛА, и начаты их натурные испытания. В табл. 3 приведены основные технические характеристики опытного образца ГМЧЛ-БП4, а на рис. 6 показан БПЛА с установленным на нем опытным образцом генератора мелкодисперсных частиц льда на жидком азоте.



Рис. 6. БПЛА с установленным малогабаритным ГМЧЛ.

Fig. 6. UAV with installed small-sized gigantic manned GMCHL.

Характеристики ГМЧЛ-БП4
Characteristics of GMChL-BP4

Характеристики	ГМЧЛ-БП4
Габаритные размеры, мм	400×273×220
Масса генератора (без азота) кг;	3
Полезный объем сосуда л;	4
Массовый расход, г/с	1
Время работы, мин	40

Комплекс измерительной аппаратуры, установленный на БПЛА

Другой проблемой, которую предстоит рассмотреть при исследовании возможности использования БПЛА в работах по воздействию на переохлажденные облака и туманы, является состав устанавливаемого метеорологического оборудования и приемопередающих устройств. Опыт проведения оперативных работ по ИРО позволил определить основные метеопараметры (температура, скорость и направление ветра в слое), необходимые для проведения воздействия с указанной целью. Именно эти данные, измеряемые в реальном масштабе времени и оперативно передаваемые в Пункт управления, определяют решение о проведении воздействия.

При проведении работ по рассеянию переохлажденных туманов основными метеорологическими параметрами являются температура, скорость и направление ветра, вертикальная протяженность и дальность видимости.

Самым распространенным методом получения данных о вертикальном профиле температуры и ветра в пограничном слое атмосферы является радиозондирование атмосферы. Однако ограниченное число пунктов радиозондирования и редкий выпуск радиозондов практически исключают использование этих данных в качестве оперативного источника информации.

Для оперативного получения вертикальных профилей температуры, направления и скорости ветра также могут быть использованы современные отечественные средства дистанционного зондирования, такие как: Волна-3, Волна-4, ЛАТАН-3, ПЛВ-300, ПЛВ-5000, ПЛВ-10000, МТП-5 и др. [15]. Однако стоимость таких комплексов достаточно высока, что практически исключает их применение в оперативных работах по АВ.

Создание комплекса метеорологической аппаратуры БПЛА для работ по ИРО целесообразно вести путем модификации существующего самолетного измерительного комплекса с учетом конструктивных особенностей и условий применения БПЛА, поскольку применяемый в настоящее время самолетный ИВК хорошо показал себя в работах по метеозащите мегаполисов [11].

При проведении работ по рассеянию переохлажденных туманов в составе комплекса измерительной аппаратуры предлагается использовать датчик температуры, ультразвуковой анемометр и измеритель видимости для беспилотных

летательных аппаратов. Основные характеристики этих датчиков приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основные характеристики датчиков, используемых на БПЛА

Main characteristics of sensors

Характеристика	Значение / диапазон
Диапазон измерения температуры	от -10 до $+85$ °С
Уровень точности измерения температуры	$\pm 0,25$ %
Диапазон измерения скорости ветра	$0-60$ м/с
Погрешность измерения скорости ветра	± 4 %
Диапазон измерения направления ветра	$0-359$ °
Погрешность измерения направления ветра	± 4 °
Диапазон измерения видимости	$10-10\,000$ м
Точность измерения видимости	± 5 %

Для получения вертикального профиля направления и скорости ветра на этапе отработки экспериментального образца комплекса можно использовать сбрасываемый зонд, созданный в Агентстве АГТЕХ [16]. Передача метеопараметров с БПЛА будет осуществляться по радиоканалу с помощью радиомодуля с антенной блока сбора информации. Поскольку Пункт управления работами должен располагаться непосредственно в районе проведения работ, прием сигнала будет осуществляться радиомодулем приемного блока с отображением метеопараметров на мониторе компьютера.

Заключение

1. Выполненные теоретические исследования подтверждают принципиальную возможность применения БПЛА в работах по воздействию на переохлажденные облака и туманы с целью перераспределения осадков и улучшения дальности видимости на автодорогах и в аэропортах.

2. Проведенный анализ характеристик российских БПЛА показывает, что некоторые из них (после оснащения специально разработанными средствами воздействия) могут быть использованы для проведения исследований и в работах по воздействию на переохлажденные облака и туманы.

3. Применение БПЛА в работах по ИРО позволит в определенной мере заменить самолеты с истекающим сроком летной годности, а в работах по борьбе с туманами — преодолеть ограничения, связанные с рельефом местности и отсутствием плотной сети дорог.

4. Выполняемые Агентством атмосферных технологий исследования и создаваемые комплексы средств воздействия и измерительной аппаратуры для БПЛА позволят существенно расширить арсенал наземных и авиационных средств воздействия на переохлажденные облака и туманы и заменить в оперативных работах устаревшие самолетные средства и дорогостоящие наземные устройства

дистанционного зондирования и могут составить основу нового направления исследований в экспериментальной метеорологии.

Список литературы

1. Андреев Н. А. Перспективы применения беспилотного транспорта в России / Н. А. Андреев // Отходы и ресурсы. 2023. Т. 10. №1. URL: <https://resources.today/PDF/42ECOR123.pdf>. — doi: 10.15862/42ECOR123.
2. Максимова С. Е., Духин С. В. Геоинформационный подход к построению оптимального маршрута беспилотного воздушного судна с учетом ограничений по метеорологическим условиям // Гидрометеорология и экология. 2024. № 77. С. 739—749. doi: 10.33933/2713-3001-2024-77-739-749.
3. Дьяченко А. В., Леденёва М. В., Чуб М. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве как способ повышения урожайности и обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации // Бизнес. Образование. Право. 2025. № 3(72). С. 25—31. doi: 10.25683/VOLBI.2025.72.1380.
4. Шарафутдинов А. А., Имамутдинов С. А., Мухаметьянова А. Н. и др. Применение беспилотных летательных аппаратов для дистанционного мониторинга окружающей среды // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2018. №2. С. 99—116.
5. Зосимович Н. Беспилотники для экологического мониторинга. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 484 с.
6. Лучников А. И. Современные тенденции применения БПЛА в исследовании природных сред. Анализ зарубежных публикаций // Гидрометеорология и экология. 2025. № 80. С. 530—546. doi: 10.33933/2713-3001-2025-80-530-546.
7. Ершова А. А., Голубева Е. А., Антонов В. А. и др. Сравнительный анализ результатов учета морского мусора наземными и дистанционными (БПЛА) методами на побережье архипелага Новая Земля в 2023 г. // Гидрометеорология и экология. 2025. № 81. С. 699—717. doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-699-717.
8. Цепелев В. Ю. О возможности вертикального зондирования атмосферы при помощи мобильного аэрологического комплекса, размещенного на беспилотном летательном аппарате // Гидрометеорология и экология. 2024. № 76. С. 437—450.
9. Watts A. C., Ambrosia V. G., Hinkley E. A. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use // Remote Sensing. 2012. vol. 4. P. 1671—1692.
10. Chin-Chung Chang, Chin-Yuan Chang, Jia-Lin Wang et al. An optimized multicopter UAV sounding technique (MUST) for probing comprehensive atmospheric variables // Chemosphere. 2020. vol. 254, Art. 126867.
11. Колосков Б. П., Корнеев В. П., Щукин Г. Г. Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. Изд. РГГМУ. 2012. 241 с.
12. Корнеев В. П., Колосков Б. П., Бычков А. А., Петрунин А. М. и др. Активные воздействия на облака с целью улучшения условий погоды в мегаполисах // Метеорология и гидрология. 2022. № 7. С. 61—70.
13. Антонов С. В., Бычков А. А., Корнеев В. П., Щукин Г. Г. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в работах по искусственному регулированию осадков // Сборник материалов VI Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды». СПб. 2020. С. 20—25.
14. Частухин А. В., Сергеев Б. Н., Колосков Б. П. Моделирование рассеяния переохлажденного тумана с использованием трехмерной численной модели Fog Seeding // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. № 49. С. 47—57.
15. Борейшо А. С., Кояев М. А., Ким А. А. Лидарные комплексы для исследования атмосферы. Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2024. 243 с.
16. Антонов С. В., Бычков А. А., Сергеев Б. Н. и др. Теоретическое обоснование применения беспилотных летательных аппаратов в работах по воздействию на переохлажденные туманы // Труды ВКА им. А. Ф. Можайского. СПб. 2018. № 662. С. 13—17.

References

1. Andreev N. A. Prospects for the Use of Unmanned Transport in Russia. *Otkhody i resursy = Waste and Resources*. 2023; (10):(1): doi: 10.15862/42ECOR123. (In Russ.).
2. Maksimova S. E., Duhin S. V. Geoinformation approach to constructing an optimal route for an unmanned aerial vehicle taking into account meteorological restrictions. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2024; (77):(739—749). doi: 10.33933/2713-3001-2024-77-739-749 (In Russ.)
3. Dyachenko A. V., Ledeneva M. V., Chub M. V. Use of unmanned aerial vehicles in agriculture as a way to increase crop yields and ensure food security of the Russian Federation. *Biznes. Obrazovaniye. Pravo. = Business. Education. Law*. 2025; 3(72):(25—31). doi: 10.25683 / VOLBI.2025.72.1380. (In Russ.).
4. Sharafutdinov A. A., Imamutdinov S. A., Mukhametyanova A. N. et al. Use of unmanned aerial vehicles for remote monitoring of the environment. *Setevoye izdaniye «Neftegazovoye delo» = Online publication «Oil and Gas Business»*. 2018; (2):(99 —116). (In Russ.).
5. Zosimovich N. *Bespilotniki dlya ekologicheskogo monitoringa = Drones for environmental monitoring*. Moscow: LAP Lambert Academic Publishing, 2013: 484 p. (In Russ.).
6. Luchnikov A. I. Current trends in the use of UAVs in the study of natural environments. Analysis of foreign publications. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2025; (80):(530—546). doi: 10.33933/2713-3001-2025-80-530-546. (In Russ.).
7. Ershova A. A., Golubeva E. A., Antonov E. V. et al. Comparison of results of ground-based and remote (UAV) methods of marine debris monitoring on the coast of the Novaya Zemlya archipelago in 2023. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2025; (81):(699—717). doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-699-717. (In Russ.).
8. Tsepelev V. Yu. On the possibility of vertical sounding of the atmosphere using a mobile aerological complex placed on an unmanned aerial vehicle. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2024; (76):(437—450). (In Russ.).
9. Watts A. C., Ambrosia V. G., Hinkley E. A. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing*. 2012; (4):(1671—1692).
10. Chin-Chung Chang, Chin-Yuan Chang, Jia-Lin Wang et al. An optimized multicopter UAV sounding technique (MUST) for probing comprehensive atmospheric variables. *Chemosphere*. 2020; (254): Art. 126867.
11. Koloskov B. P., Korneev V. P., Shchukin G. G. *Metody i sredstva modifikatsii oblakov, osadkov i tumanov. = Methods and means of modifying clouds, precipitation and fogs*. St. Petersburg: RGGMU, 2012:241 p. (In Russ.).
12. Korneev V. P., Koloskov B. P., Bychkov A. A., Petrunin A. M. et al. Active influence on clouds in order to improve weather conditions in megacities. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*. 2022;(7):(61—70). (In Russ.).
13. Antonov S. V., Bychkov A. A., Korneev V. P., Shchukin G. G. Prospects for the use of unmanned aerial vehicles in artificial precipitation control. *Sbornik materialov VI Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii «Problemi voenno-prikladnoi geofiziki i cotrolya sostoya prirodnoi sredi» = Collection of materials of the VI All-Russian scientific conference «Problems of military-applied geophysics and monitoring of the state of the natural environment»*. 2020; (20—25). (In Russ.).
14. Chastukhin A. V., Sergeev B. N., Koloskov B. P. Modeling of supercooled fog dispersion using a three-dimensional numerical model Fog Seeding. *Uchenie zapiski Rossiiskogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2017;(49):(47—57). (In Russ.).
15. Boreysho A. S., Konyaev M. A., Kim A. A. Lidar systems for atmospheric research. *Izdatelstvo Lan = Lan Publishing House*. (244):(243). (In Russ.).
16. Antonov S. V., Bychkov A. A., Sergeev B. N., Chastukhin A. V., Shchukin G. G. Theoretical justification for the use of unmanned aerial vehicles in works on the impact on supercooled fogs. *Trudi VoЕННО-kosmicheskoi akademii imeni A. F. Mozhaiskogo = Proceedings of the A. F. Mozhaisky Military Space Academy*. 2018;(662):(13—17). (In Russ.).

Информация об авторах

Антонов Степан Владимирович, ведущий инженер, АНО «Агентство АТТЕХ», klybok777@gmail.com.

Двоеглазов Сергей Михайлович, ведущий инженер, АНО «Агентство АТТЕХ», s.m.dvoeglazov@mail.ru.

Николаев Евгений Николаевич, инженер, АНО «Агентство АТТЕХ», jn81@yandex.ru.

Петрунин Андрей Михайлович, кандидат физико-математических наук, заместитель директора по оперативным проектам, АНО «Агентство АТТЕХ», a.m.petrinin@mail.ru.

Платонов Николай Александрович, ведущий инженер, АНО «Агентство АТТЕХ», n-a-platonov@mail.ru.

Частухин Андрей Викторович, кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научной работе, АНО «Агентство АТТЕХ», a.chastuhin@mail.ru.

Щукин Георгий Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, консультант, АНО «Агентство АТТЕХ», ggshchukin@mail.ru.

Information about authors

Antonov Stepan V., leading engineer, ANO «Atmospheric Technology Agency».

Dvoeglazov Sergey M., Lead Engineer, ANO «Atmospheric Technology Agency».

Nikolaev Evgeny N., Engineer, ANO «Atmospheric Technology Agency».

Petrinin Andrey M., PhD (Phys. and Math. Sci.), Deputy Director for Operational Projects, ANO «Atmospheric Technology Agency».

Platonov Nikolay A., Lead Engineer, ANO «Atmospheric Technology Agency»

Chastukhin Andrey V., PhD (Phys. and Math. Sci.), Deputy Director for Research, ANO «Atmospheric Technology Agency».

Shchukin Georgy G., Grand PhD (Phys. and Math. Sci.), Professor, Consultant, ANO «Atmospheric Technology Agency».

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 07.03.2026

Принята в печать 29.05.2026

The article was received on 07.03.2026

The article was accepted on 29.05.2026