

## Автоматические осадкосборники

М. Ю. Аршинов\*, Б. Д. Белан\*,  
Д. К. Давыдов\*, А. В. Козлов\*,  
Г. Н. Толмачев\*

*Дано описание трех разработанных и изготовленных в Институте оптики атмосферы автоматических осадкосборников, предназначенных для сбора атмосферных осадков в жидкой и твердой фазе в разных климатических условиях, а также для сбора сухих осаждений с целью исследования химического состава.*

**Ключевые слова:** автоматический осадкосборник, датчик, дождь, загрязнения, осадки, примеси, сбор, снег, химический состав.

### Введение

Анализ атмосферных осадков позволяет оценить качество окружающей среды того или иного региона [10, 12, 13]. Аккумулируя загрязняющие вещества из атмосферного воздуха, осадки переносят их в почву и водные объекты, что нарушает экологическое равновесие. На поступление загрязняющих веществ в атмосферу и их распределение влияет множество факторов: техногенных (выбросы промышленных предприятий, выхлопные газы автомобилей и продукты сгорания угля при производстве тепло- и электроэнергии на ТЭЦ), природно-климатических (температура воздуха, скорость и направление ветра и т. д.) и социальных (застройка и нарушение почвенного покрова). В результате состав осадков заметно различается в разных регионах и изменяется во времени [6, 8, 9, 14], поэтому изучение химического состава атмосферных осадков позволяет не только оценить уровень загрязнения атмосферы, но и идентифицировать источники этого загрязнения по характерным трассерам.

Регулярные наблюдения за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков на территории СССР были организованы в конце 1950-х годов [15]. В 1977 г. была создана “Совместная программа мониторинга и оценки дальнего переноса загрязняющих воздух веществ в Европе (ЕМЕП)”, к которой присоединился и СССР [11]. Программа ЕМЕП была организована под эгидой Европейской экономической комиссии при Организации Объединенных Наций как ответ на растущую тревогу относительно эффектов воздействия на окружающую среду, обусловленных кислотными выпадениями. С 1979 г. под руководством Всемирной метеорологической организации (ВМО) осуществляется Глобальный проект по климатологии осадков, который обеспечивает ежемесячные глобальные оценки количества и состава осадков в пределах района, ограниченного областью  $2,5^\circ$  по широте и  $2,5^\circ$  по долготе [16]. Отбор проб атмосферных осадков

\* Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук; e-mail: michael@iao.ru (Аршинов Михаил Юрьевич).

производят на метеорологических станциях, расположенных как в сельской местности, так и в пределах города или промышленного района. Из сети станций по отбору проб атмосферных осадков в сельской местности выделены станции мониторинга фонового загрязнения атмосферы, вошедшие в международную сеть ВМО. Наблюдения на сети станций мониторинга фонового загрязнения атмосферы осуществляют в районах минимального загрязнения (базовые станции) и в районах, подверженных влиянию хозяйственной деятельности человека, куда загрязняющие вещества поступают путем местных миграционных процессов (региональные станции). В 2016 г. наблюдения за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков на территории России проводили на 221 станции, из них на 76 станциях — за химическим составом и кислотностью, на 72 — только за кислотностью, на 73 — только за химическим составом [15].

На станциях практикуют как ручной, так и автоматический отбор проб. При ручном отборе проб осадков в теплый и холодный периоды используют разные осадкосборные устройства. Отбор проб дождевой воды осуществляется через эмалированные, стеклянные или полиэтиленовые воронки с надетым на горловину защитным приспособлением, которое препятствует попаданию осадков, стекающих по внешней стороне воронки в сборную колбу. И только на нескольких станциях используют автоматические устройства отбора осадков. При этом автоматические осадкосборники должны иметь достаточно чувствительную систему открытия крышки, защищающей сборник от сухих выпадений, срабатывающую даже при наличии слабых осадков.

В руководстве [11] приведен перечень автоматических осадкосборников, рекомендованных для использования на сети станций. Все они производятся за рубежом и имеют достаточно высокую стоимость. Недоступность по цене для массового российского потребителя привела к необходимости разработки отечественного автоматического осадкосборника. Такие устройства для разных климатических условий были разработаны и изготовлены по заказам отраслевых и академических институтов в Институте оптики атмосферы Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН). Описанию трех типов таких осадкосборников и посвящена данная работа.

Для сети Росгидромета пробоотборных устройств, изготовленных только из полиэтилена или полипропилена, пока не поставлялось.

### Описание устройств

Сначала был разработан автоматический осадкосборник для эксплуатации в экстремальных климатических условиях Сибири и Дальнего Востока. Описание этого устройства есть в работе [4], поэтому приведем только основные характеристики. Оно предназначено для сбора атмосферных осадков в жидкой и твердой фазах с целью исследования их химического состава. Работа устройства заключается в автономном определении наличия осадков и их автоматическом сборе, а также в предотвращении за период времени между осадками попадания твердых частиц (мусора, пыли) в приемный резервуар. В отсутствие осадков собирающая воронка плотно закрыта, для исключения попадания брызг ее поверхность помещена выше любых узлов устройства на расстоянии более 70 мм. Для работы в условиях отрицательных значений температуры в устройстве имеется подогрев воронки и датчика осадков, а также в электронном блоке предусмотрена система терmostабилизации, которая поддерживает температуру

внутри блока в пределах 19—21°C. В осадкосборнике есть два режима работы: ручной и автоматический. Ручной режим предназначен для тестирования работоспособности прибора, в автоматическом крышка открывается после команды, поступающей от индикатора осадков.

Осадкосборник имеет следующие технические характеристики:

- диаметр собирающей воронки — 357 мм;
- режимы движения крышки — автоматический, ручной;
- время движения крышки — 30 с;
- задержка на закрывание крышки после прекращения осадков — 2 мин;
- напряжение питающей сети — 220 В, 50 Гц;
- потребляемая мощность без нагревателя — 250 ВА;
- мощность нагревателя — 1500 ВА;
- габариты — 280 550 980 мм;
- масса — 65 кг;
- длина соединительного кабеля — 10 м.

Затем был разработан автоматический осадкосборник для регионов с теплым климатом [7]. Он отличается не только отсутствием нагревателя воронки, но и другими техническими деталями. Изменения в конструкцию введены на основании опыта 10-летней эксплуатации вышеописанного устройства. В частности, наблюдатели отмечали большую парусность закрывающей крышки при сильном ветре и значительную массу осадкосборника, затрудняющую его перемещение. В связи с этим конструкция механизма перемещения крышки нового осадкосборника была изменена, для ее изготовления были использованы более легкие материалы. Общая схема осадкосборника приведена на рис. 1.

Устройство выполнено в виде прямоугольного стального корпуса, надежно предохраняющего внутренний объем от попадания влаги. Для доступа внутрь корпуса 1 предусмотрена герметичная дверь. Собирающая воронка 2 изготовлена из твердого полиэтилена и помещена в цилиндр из дюралюминия, предохраняющий ее от попадания брызг. Крышка 3 также из дюралюминия, для улучшения прилегания к предохранительному цилиндуру и опоре 4 снабжена подпружиненной прокладкой, изготовленной из фторопластика, который также позволяет предотвратить примерзание крышки при отрицательной температуре. Опора представляет собой цилиндр из дюралюминия. Для предотвращения коррозии на все металлические элементы осадкосборника нанесено полимерное покрытие с использованием технологии порошкового окрашивания.

Электронный блок управления 5 предназначен для контроля и управления параметрами датчика и формирования сигнала на исполнительные цепи электропривода (открыто — закрыто). Сигнал на закрытие крышки после окончания осадков формируется с задержкой 2 мин после испарения жидкости с поверхности индикатора осадков. Задержка введена с целью исключения нерационального перемещения крышки при особо низкой интенсивности осадков. Конструктивно электронная схема размещена в термостабилизированном корпусе. Емкость для сбора осадков 7 представляет собой полиэтиленовый сосуд (бутылку) емкостью 1 дм<sup>3</sup>, который свободно (без крепления) устанавливается внутри корпуса под собирающей воронкой.

При включении питания осадкосборника запускается процесс тестирования, после прохождения которого крышка 3 останавливается в положении “закрыто”, т. е. закрывает воронку 2. При попадании капель дождя на датчик осадков 6 приходит в действие механизм перемещения крышки 8, электронный блок управления 5 подает питание на электродвигатель.

В ряде зарубежных осадкособорников соединены функции сбора осадков и сухих осаждений [17, 18, 20]. Описанный выше осадкособорник легко позволяет дооснастить его до двухпозиционного варианта, объединяющего обе эти функции, без существенных дополнительных затрат [2].

Разработанный автоматический двухпозиционный сборник осадков предназначен для раздельного сбора атмосферных осадков в жидкой фазе и аэрозольных частиц (сухих осаждений). В случае необходимости он может быть доработан и для приема твердых осадков путем замены обычной принимающей полиэтиленовой воронки на другую, оборудованную, например, гибким инфракрасным нагревателем. Раздельного отбора атмосферных осадков и сухих атмосферных выпадений можно достичь путем введения в состав вышеописанного автоматического осадкособорника дополнительной емкости для осаждения примесей воздуха. Кроме того, примененное конструктивное решение позволит проводить отбор как в жидкость (дистиллированная вода), так и на фильтр, размещаемый на специальном держателе, который установлен внутри емкости. Это дает возможность определить концентрацию загрязняющих веществ, входящих в состав сухих атмосферных выпадений. Иными словами, в предлагаемом устройстве реализуется как пассивный (гравитационное оседание), так и принудительный отбор сухих выпадений.

Емкость для сбора сухих выпадений представляет собой сосуд (бутыль) объемом 10 л из твердого полиэтилена, у которого срезано дно; закреплена сферической частью вниз.

Основной режим работы устройства — дежурный. В этом режиме воронка, собирающая жидкие осадки, закрыта крышкой, а резервуар для отбора сухих аэрозольных выпадений — открыт. При появлении осадков крышка приподнимается и поворачивается на 180°, закрывая емкость для сбора сухих атмосферных выпадений. После прекращения осаждения крышка возвращается в исходное положение. При этом если выбран вариант активного сбора сухих выпадений, то на насос подается напряжение и начинается аспирация сухих осаждений через фильтр. В варианте пассивного отбора сухие выпадения оседают вследствие седиментации в дистиллированную воду, которую после необходимого времени отбора сливают через кран и отправляют на химический анализ.

Осадкособорник имеет следующие характеристики:

- диаметр собирающей осадки воронки — 200 мм;
- вертикальный бортик — 50 мм;
- диаметр сборника сухих осаждений — 200 мм;
- высота сборника сухих осадков — 250 мм;

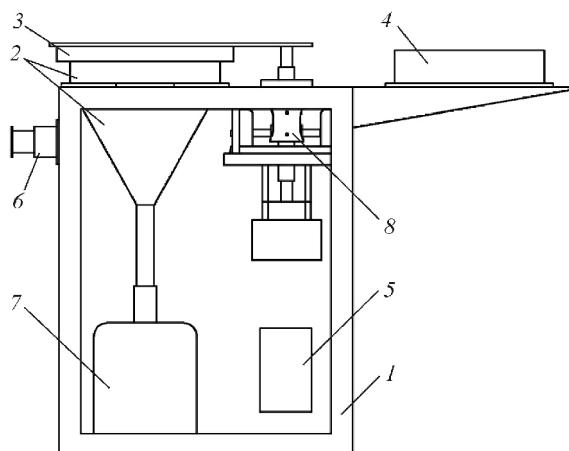


Рис. 1. Автоматический однопозиционный осадкособорник.

1 — корпус; 2 — собирающая воронка; 3 — крышка; 4 — опора для крышки; 5 — электронный блок управления; 6 — датчик осадков; 7 — емкость для сбора осадков; 8 — механизм перемещения крышки.

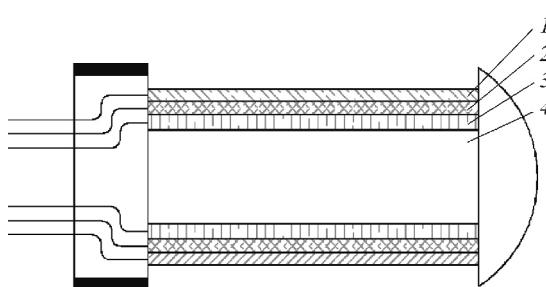


Рис. 2. Конструкция датчика осадков.

1 — датчик осадков; 2 — датчик температуры; 3 — нагреватель; 4 — каркас.

- чувствительность индикатора осадков — 0,05 мм/ч;
- длина шнура питания — 50 м;
- диапазон температуры: -20...50 С;
- режимы движения крышки — автоматический и ручной;
- время движения крышки — 30 с;
- задержка на закрывание крышки после прекращения осадков — 2 мин;

- напряжение питающей сети — 220 В, 50 Гц;
- потребляемая мощность — 250 ВА;
- масса — 15 кг.

Во всех описанных выше осадкоизмерителях чувствительным элементом является датчик осадков, который разрабатывался для TOR-станции ИОА СО РАН с целью регистрации их начала и окончания [1, 3, 5]. Он предназначен для фиксации момента начала и окончания выпадения осадков. Принцип действия датчика основан на изменении величины проводимости в зазоре между двумя проводниками при попадании жидкости (рис. 2). Конструктивно (для увеличения эффективной площади) датчик выполнен в виде пары проводников (проволока диаметром 0,1 мм), намотанных на цилиндр. Для быстрого испарения жидкости по окончании выпадения осадков и сохранения работоспособности при отрицательной температуре воздуха в датчик встроен нагреватель, благодаря которому поддерживается температура в пределах 45—50 С. Индикатор имеет чувствительность на уровне интенсивности осадков 0,02—0,03 мм/ч при гарантированном срабатывании при интенсивности 0,05 мм/ч.



Рис. 3. Внешний вид автоматических осадкоизмерителей: для эксплуатации при низкой температуре (а), двухпозиционный (б).

На рис. 3 приведен внешний вид двух осадкосборников — предназначенного для работы во всех климатических условиях и двухпозиционного для использования при положительной температуре воздуха в южных районах России.

Таким образом, в ходе цикла исследований были разработаны и изготовлены три типа автоматических пробоотборных устройств, позволяющих осуществлять сбор твердых и жидких осадков, а также сухих аэрозольных выпадений.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы (соглашение № 14.613.21.0082), уникальный идентификатор проекта RFMEF161317X0082.

## Литература

1. Аршинов М. Ю., Белан Б. Д., Давыдов Д. К., Ковалевский В. К., Плотников А. П., Покровский Е. В., Склиднева Т. К., Толмачев Г. Н. Автоматический пост для контроля качества воздуха. — Метеорология и гидрология, 1999, № 3, с. 110—118.
2. Белан Б. Д., Аршинов М. Ю., Давыдов Д. К., Козлов А. В., Толмачев Г. Н. Автоматический двухпозиционный сборник атмосферных осадков и сухих выпадений. Патент на полезную модель № 170193.
3. Белан Б. Д., Давыдов Д. К. Индикатор атмосферных осадков. Патент на полезную модель № 81813.
4. Белан Б. Д., Давыдов Д. К., Ковалевский В. К., Пирогов В. А., Покровский Е. В., Толмачев Г. Н. Автоматический осадкосборник. — Оптика атмосферы и океана, 2002, т. 15, № 7, с. 623—625.
5. Белан Б. Д., Ковалевский В. К., Давыдов Д. К. Индикатор осадков. — Приборы и техника эксперимента, 1999, № 1, с. 163—164.
6. Дроздова В. М., Петренчук О. П., Селезнева Е. С., Свистов П. Ф. Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР. — Л., Гидрометеоиздат, 1964, 210 с.
7. Козлов А. В., Белан Б. Д., Давыдов Д. К., Толмачев Г. Н. Автоматический осадкосборник. Патент на полезную модель № 161697.
8. Коробка О. В., Овчаренко Е. А., Эйрих А. Н., Серых Т. Г., Дрюнина Е. Ю., Папина Т. С. Химический состав атмосферных осадков города Барнаула. — Ползуновский вестник, 2014, т. 2, № 4, с. 80—83.
9. Оболкин В. А., Нецеваева О. Г., Голобокова Л. П., Потемкин В. Л., Зимник Е. А., Филиппова У. Г., Ходжер Т. В. Результаты многолетних исследований кислотных выпадений в районе Южного Байкала. — География и природные ресурсы, 2013, № 2, с. 66—73.
10. Першина Н. А., Павлова М. Т. Фоновая составляющая атмосферных осадков. — Труды ГГО, 2013, вып. 569, с. 224—232.
11. Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу. /А. Г. Рябошапко (ред.). — Kjeller, Norway, Norwegian Institute for Air Research, 2001, 270 с.
12. Свистов П. Ф., Полищук А. И., Першина Н. А. Качественная оценка загрязнения окружающей среды (по данным о химическом составе атмосферных осадков). — Труды ГГО, 2010, Специальный выпуск № 2, с. 4—17.
13. Семенец Е. С. Методика определения характерной концентрации примесей в атмосферных осадках (на примере данных станций Санкт-Петербург и Войкова). — Труды ГГО, 2016, вып. 583, с. 197—208.
14. Сорокина В. В., Сойер В. Г. Сухие и мокрые атмосферные выпадения органического углерода на побережье и акваторию северо-восточной части Азовского моря. — Океанология, 2016, т. 56, № 5, с. 804—813.
15. Состояние работ по наблюдению за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков в 2016. Методическое письмо. — СПб, ГГО, 2017, 58 с.
16. Adler R. F., Huffman G. J., Chang A., Ferraro R., Xie P., Janowiak J., Rudolf B., Schneider U., Curtis S., Bolvin D., Gruber A., Susskind J., and Arkin P. The version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). — J. Hydrometeorol., 2003, vol. 4, pp. 1147—1167.
17. Cape J. N., van Dijk N., and Tang Y. S. Measurement of dry deposition to bulk precipitation collectors using a novel flushing sampler. — J. Environ. Monitoring, 2009, vol. 11, pp. 353—358.
18. Granat L., Areskaug H., Hovmand M., Devenish M., Schneider B., Bieber E., Marquardt W., Reissell A., Jarvinen O., Hanssen J. E., and Sjoberg K. Intercomparison of precipitation collectors for chemical analysis, HELCOM intercalibration — second stage. — Baltic Sea Environ. Proceedings, 1992, No. 41, pp. 15—88.
19. Vet R. A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus. — Atmos. Environ., 2014, vol. 93, pp. 101—116.
20. Vet R. and McNaughton D. The precision, comparability and uncertainty of air and precipitation chemistry measurements made during the Canadian–United States eulerian model evaluation field study (EMEFS). /In: EMEP Workshop on the Accuracy of Measurements. Passau, 1993. T. Berg and J. Schaug. (ed.). — Kjeller, Norway, Norwegian Institute for Air Research, EMEP/CCC Report, 1994, No. 2/94, pp. 115—134.
21. Wolff E. W. Review signals of atmospheric pollution in polar snow and ice. — Antarct. Sci., 1990, vol. 3, No. 2, pp. 189—205.