

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук

На правах рукописи

Кураков Сергей Анатольевич

**АВТОНОМНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА
ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор физико-математических наук,
чл.-корр. РАН, профессор
Зуев Владимир Владимирович

Томск - 2020

Оглавление

Введение	5
1 Современный уровень развития технических средств контроля состояния природной среды	13
1.1 Автоматические метеорологические комплексы	14
1.1.1 Требования ВМО по контролю изменений стандартных и дополнительных метеорологических величин	14
1.1.2 Краткий обзор существующих метеорологических комплексов .	17
1.2 Аппаратура автоматизированного мониторинга и контроля основных метеовеличин приземной атмосферы	21
1.2.1 Контроль температуры воздуха	21
1.2.2 Контроль влажности воздуха	23
1.2.3 Контроль атмосферного давления	24
1.2.4 Контроль скорости и направления ветра	25
1.3 Аппаратура автоматизированного мониторинга и контроля дополнительных метеорологических величин	27
1.3.1 Контроль высоты снежного покрова	27
1.3.2 Контроль профилей температуры грунтов, снега и льда	29
1.3.3 Методы и средства контроля потока солнечной радиации	31
1.4 Бортовые автоматические метеостанции и системы	34
1.5 Требования к структуре автономных комплексов для контроля природной среды с дополнительными возможностями	35
1.6 Выводы по главе 1	38
2 Датчики и составные части приборов для контроля снежных и ледовых покровов, почв и грунтов, солнечной радиации	40
2.1 Способ определения местоположения границы раздела двух сред различной плотности, основанный на выявлении экстремума производной в температурном профиле	40
2.2 Средства автоматизированного контроля температуры	43
2.3 Датчик высоты снежного покрова, основанный на анализе вертикального профиля температуры	44
2.4 Одноразовые датчики контроля высоты снежного покрова, применяемые для оценки лавинной опасности	49
2.5 Автоматический регистратор таяния ледников Куракова	51

2.6 Температурные зонды, предназначенные для непрерывного контроля профиля температуры в почве и грунтах	54
2.7 Метрологическое обеспечение датчиков температуры	62
2.8 Контроль уровня воды	65
2.9 Контроль потока солнечной радиации	69
2.10 Выводы по главе 2	73
3 Беспилотный регистратор пространственного распределения полей метеорологических величин в пограничном слое атмосферы	76
3.1 Методы и технические средства получения информации о пространственном распределении полей метеовеличин в пограничном слое атмосферы	76
3.2 Способы определения усредненных значений скорости и направления ветра с использованием аэродинамических характеристик БПЛА	77
3.2.1 Способ определения скорости и направления ветра на заданной высоте путем отслеживания траектории БПЛА под действием ветра ..	77
3.2.2 Способ определения усредненного вектора скорости ветра по наклону вектора тяги БПЛА	79
3.3 Общие требования к метеодатчикам, устанавливаемым на БПЛА для контроля температуры, давления и влажности в АПС	81
3.3.1 Датчики для контроля температуры воздуха	81
3.3.2 Датчик для контроля влажности воздуха	83
3.3.3 Датчик для контроля атмосферного давления	84
3.3.4 Требования к конструкции портативной метеостанции	85
3.3.5 Требования к авианесущей платформе	86
3.4 Экспериментальный образец портативной электронной метеостанции – ПЭМС-БПЛА	88
3.4.1 Составные части ПЭМС-БПЛА.....	88
3.4.2 Натурные испытания ПЭМС-БПЛА и их результаты	96
3.5 Выводы по главе 3	100
4 Атмосферно-почвенный измерительный комплекс АПИК	102
4.1 Базовая конструкция атмосферно-почвенного измерительного комплекса АПИК	102
4.2 Программное обеспечение АПИК	107

4.2.1 Структура АПИК	107
4.2.2 Алгоритм работы контроллера-регистратора	108
4.2.3 Сервер и База данных	109
4.2.4 Клиентское приложение	110
4.3 Регистратор скрытой установки	112
4.4 Автономный контроллер-регистратор как элемент сети мониторинга	115
4.5 Апробация и результаты применения автономных комплексов контроля природной среды	117
4.6 Выводы по главе 4	122
Заключение	124
Перечень сокращений и обозначений	127
Список литературы	128
Приложение А. Копии полученных патентов	145
Приложение Б. Проект руководства по эксплуатации ПЭМС-БПЛА .	156
Приложение В. Копия Акта испытаний экспериментального образца ПЭМС-БПЛА	157
Приложение Г. Акты внедрения диссертационной работы	163

Введение

Актуальность работы. Современные темпы и масштабы изменения климата активно формируют новые условия существования природной среды. Для их контроля необходимо иметь развитую сеть станций климатического, метеорологического и экологического мониторинга, покрывающую значительные территории с необходимым пространственным разрешением, включая труднодоступные территории в горных, болотистых и арктических зонах.

Производимые в настоящее время автоматические системы контроля природной среды имеют высокую стоимость, поэтому построение на их основе развитой измерительной сети не оправдано экономически. В тоже время, современные технологии позволяют создавать весьма эффективные и недорогие технические средства. Таким образом, создание автономных комплексов, систем и датчиков контроля природной среды для труднодоступных территорий является весьма **актуальной задачей**.

Целью работы является создание на основе современных технологий автономного атмосферно-почвенного измерительного комплекса и автономных датчиков для контроля изменений ряда отдельных стандартных и дополнительных метеорологических величин, предназначенных для контроля природной среды на труднодоступных территориях.

Для достижения этой цели необходимо решение следующих **задач**:

1) разработать способ контроля изменений профилей температуры в грунтах, почвах, снежных и ледовых покровах и реализовать данный метод в технических средствах;

2) разработать новые датчики для контроля потока солнечной радиации и уровня воды в природных водоемах;

3) разработать и создать беспилотный регистратор пространственных полей температуры, давления, влажности, а также усредненных значений скорости и направления ветра в пограничном слое атмосферы;

4) на основе предложенных методов и разработанных технических средств для контроля изменений профилей температуры в грунтах, почвах и ледовых покровах

разработать и реализовать базовый автономный атмосферно-почвенный измерительный комплекс (АПИК), предназначенный для оперативного контроля состояния природной среды на труднодоступных территориях, обеспечивающий передачу измерительной информации на удаленный сервер и позволяющий удаленный доступ к элементам оборудования и базам данных сторонним пользователям.

Методы исследования. Использовался комплексный подход, включающий в себя анализ научных и технических источников, охватывающих область исследования; анализ и параметризацию требований к новому оборудованию и цифровой обработке и передаче информации, метрологическую калибровку датчиков, разработку электронных блоков АПИК и программных алгоритмов, а также проведение натурных испытаний созданных технических средств.

Научная новизна

1. Предложены, научно обоснованы и реализованы новые технические решения по конструкции датчика высоты снежного покрова (патент РФ № 2542598) и регистратора таяния ледников (патент РФ № 2606346), основанные на определении температурного градиента на границе снега или льда и воздуха с помощью температурного зонда или термокося, состоящей из жёстких сегментов, для автоматического складывания, соединённых между собой гибким кабелем и использующих множество температурных датчиков.

2. Предложена и обоснована новая конструкция зонда для контроля изменений вертикального профиля температуры среды, обеспечивающая уменьшение теплопередачи через соединительный кабель, передающий информацию на контроллер-регистратор, за счет присоединения кабеля к зонду на глубине 10-20 см и размещении его в закрытой траншее (патент РФ № 2658552).

3. Предложена новая конструкция устройства контроля изменений высоты снежного покрова в горах для оценки лавинной опасности, имеющего длинный пластиковый корпус, в котором установлена вертикальная цепочка датчиков температуры, контроллер, радиомодем, датчики положения, GPS-приемник и блок автономного питания, обеспечивающая сбор оперативной информации для контроля лавинной ситуации (патент РФ № 2617146).

4. Впервые предложены и обоснованы способы измерения усредненных значений скорости и направления ветра, основанные на использовании аэродинамических характеристик БПЛА мультикоптерного типа и его навигационного оборудования при зависании в определенной точке пространства (патенты РФ №№ 2600519, 2616352, 2617020, 2650094).

5. Разработана концепция базового Атмосферно-измерительного комплекса АПИК для контроля изменений стандартных метеорологических величин: температуры, влажности, атмосферного давления, скорости и направления ветра. АПИК дополнен авторскими датчиками для контроля изменений дополнительных метеовеличин: высоты снежного покрова, солнечной радиации, профиля температуры грунта, уровня воды, а также датчиками: осадков, влажности грунта и проводимости почвы. Алгоритм работы контроллера-регистратора АПИК обеспечивает с заданным периодом опрос цифровых и аналоговых датчиков, сохранение полученных данных в энергонезависимой памяти (логгере) с привязкой ко времени измерения. Связь для конфигурирования работы и считывания данных на внешний сервер происходит через GSM-модем, Wi-Fi модуль, спутниковый интернет или через интерфейс USB.

Реализация результатов работы.

Предложенные автором технические решения позволили создать более 300 устройств, комплексов и систем контроля параметров природной среды, которые работают во многих регионах России, в том числе более 70 АПИК измеряют и передают информацию по каналам сотовой и спутниковой связи.

Настоящая работа выполнялась в рамках государственных заданий по программам:

1) ФЦП ИР, Проект «Разработка и создание измерительно-вычислительной системы для реализации технологии мезомасштабного мониторинга и прогнозирования состояния атмосферного пограничного слоя» (Соглашение № 14.607.21.0030, идентификатор RFMEFI60714X0030) (2014-2016 гг.);

2) Проект СО РАН VIII.80.2.2 «Научные основы создания оптических, акустических и электронных приборов, комплексов и систем для метеорологических измерений и технологии их применения в задачах мониторинга окружающей среды» (2012-2016 гг.);

3) в пяти проектах Приборной программы СО РАН «Импортозамещение» (2012 – 2013 гг.) на поставку комплексов: «АПИК», «АПИК-002» – ИГ СО РАН (г. Иркутск); «АПИК-004» – ИПА СО РАН (г. Новосибирск); «АПИК-007» – ЦКП БНЦ СО РАН (г. Улан-Удэ); «АПИК-008» – ИМЗ СО РАН (г. Якутск);

4) Программа ФНИ СО РАН П.2П, № НИОКТР АААА-А16-116120810008-05 (2014-2016 гг.);

5) Проект СО РАН IX.138.2.5 (2017-2020 гг.);

6) Проект задания Минобрнауки РФ № 5.3279.2017/4.6 5 (2017-2019 гг.);

7) ФЦП ИР, Проект «Разработка и создание автоматической метеорологической станции арктического исполнения для труднодоступных территорий и Северного морского коридора (АрктикМетео)» (Соглашение № 14.607.21.0205, уникальный идентификатор RFMEFI60718X0205) (2018-2020 гг.);

8) Проект РФФИ 18-05-00306 (2018-2020 гг.).

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается применением контрольно-испытательного оборудования для калибровки созданных технических средств и сравнительными испытаниями, проведенными на территории Сибири и Дальнего Востока с использованием аттестованной аппаратуры.

Практическая значимость созданных измерительных комплексов состоит в значительном расширении сетей контроля погодных, климатических и экологических процессов природной среды на удалённых территориях, включая водные объекты, болота, мерзлотные грунты и горные системы.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная измерительная рейка, представляющая собой протяжённую трёхпроводную печатную плату с установленными на ней малогабаритными цифровыми датчиками температуры, обеспечивает контроль высоты снежного покрова по температурному градиенту на границе снега и воздуха с разрешающей способностью, определяемой расстоянием между датчиками и габаритным размером датчика (при использовании датчика DS18B20 разрешающая способность составляет 5 мм), а малое сечение рейки (11 мм) снижает паразитную теплопередачу и уменьшает влияние измерительной рейки на естественный

снежный покров.

2. Автоматический регистратор таяния ледников, представляющий собой контроллер-регистратор и термокосу с малым сечением (1,1 см), устанавливаемую с упором в дно пробуренной в леднике скважины, позволяет с заданным временным периодом осуществлять контроль профиля температуры и по отличию от температуры вне скважины вычислять верхнюю границу ледника с разрешающей способностью, определяемой расстоянием между цифровыми датчиками температуры, которые установлены на жестких сегментах (длиной 40 см), соединенных между собой гибким кабелем, обеспечивающим, при таянии ледника, автоматическое складывание термокосы, а дополнительное наличие в контроллере солнечной батареи, радиомодема, GPS-приемника позволяет оперативно передавать информацию о профиле температуры и перемещении ледника.

3. Разработанный алгоритм определения средних значений горизонтальной составляющей скорости в интервале (0...20) м/с с погрешностью $\pm 0,5$ м/с и направления ветра в интервале (0...360) град. ± 15 град. обеспечивает их вычисление по перемещению беспилотного летательного аппарата (БПЛА) мультироторного типа, движущегося под воздействием ветра, находящегося в режиме удержания высоты и вертикально направленного вектора тяги, снабженного системой спутниковой навигации, электронным гироскопом и электронным магнитным компасом. При этом полный усредненный вектор скорости и направления ветра определяется путем измерения наклона вектора тяги БПЛА при его зависании в точке или при равномерном движении.

4. Созданная обширная сеть автономных атмосферно-почвенных измерительных комплексов АПИК, включающих измерительные датчики, автономные контроллеры-регистраторы, радиомодули передачи информации, сервер и базу данных и разработанное к ним программное обеспечение, позволяют осуществить долговременный комплексный мониторинг состояния природной среды в удаленных и труднодоступных болотных, лесных, степных и горных ландшафтах без участия операторов-метеорологов.

Апробация работы: Результаты диссертации докладывались и обсуждались более чем на 30 международных и всероссийских конференциях, в том числе:

Междунар. симпозиум «Контроль и реабилитация окружающей среды» (Томск, 2004 г.); Междунар. конференция «ENVIROMIS» (Томск, 2008, 2016, 2018 гг.); Междунар. НПК «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития» (Одесса, 2011 г.); Междунар. НПК «Реки Сибири и Дальнего Востока» (Иркутск, 2013 г.); International Conference «Paleolimnology of Northern Eurasia» (Petrozavodsk, 2014); Междунар. НПК «Земельные и водные ресурсы: мониторинг эколого-экономического состояния и модели управления» (Улан-Уде, 2015 г.); Междунар. НПК «Измерение, контроль, информатизация» (Барнаул, 2016 г.); Всероссийская конференция «Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу» (Томск, 2003, 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017, 2019 гг.); Всероссийская научная конференция с международным участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов» (Барнаул, 2010 г.; Москва, 2015 г.); Всероссийская конференция «Проблемы информатизации региона» (Красноярск, 2013 г.); Всероссийская НПК «Системы гидрометеорологического, экологического и специального мониторинга: методологические аспекты повышения качества функционирования. Академические Жуковские чтения» (Воронеж, 2015 г.); Рабочая группа «Аэрозоли Сибири» (Томск, 2014, 2019 гг.); Всероссийская научная конференция с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» (Барнаул, 2014 г.); Всероссийская НПК с международным участием «Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды» (Барнаул, 2014 г.); Всероссийская научная конференция с международным участием «Почвы холодных областей: генезис, география, экология» (Улан-Удэ, 2015 г.); XVII Всероссийская НПК «Измерение, контроль, информатизация: материалы» (Барнаул, 2016 г.); III Международный симпозиум «Физика, химия и механика снега» (Южно-Сахалинск, 2017); II Всероссийская НПК «Научное приборостроение – современное состояние и перспективы развития» (Казань, 2018 г.); Международная географическая конференция «Экономический коридор: Китай-Монголия-Россия» (Иркутск, 2018 г.); Всероссийская конференция

«Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий» (Сочи, 2018); Международная научно-техническая конференция «Системы контроля окружающей среды – 2018» (Севастополь, 2018 г.); Всероссийская НПК «Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации» (С.-Петербург, 2019 г.).

Личный вклад автора заключается в том, что он выполнил весь комплекс работ по проектированию, изготовлению и испытанию созданного электронного оборудования, включая постановку задач, разработку электронных схем, печатных плат, макетирование, изготовление и настройку первых экземпляров экспериментальных образцов контролирующих датчиков и устройств. Руководил и непосредственно участвовал в разработке алгоритмов ПО и структур хранения данных.

Публикации. Результаты диссертационной работы опубликованы в 75 работах, включая: 1 глава в коллективной монографии, 10 статей в журналах из списка ВАК (1 без соавторов), 2 статьи, входящих в международную базу данных (Scopus), 10 патентов на изобретение (4 без соавторов) и 52 тезиса и материала докладов в сборниках трудов международных и всероссийских научно-технических конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 118 наименований и 4-х приложений. Общий объем работы составляет 172 страницы машинописного текста, содержит 13 таблиц, 63 рисунка.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и основные задачи исследований, показаны научная новизна, практическая значимость и личный вклад автора. Приведены результаты апробации работы и публикации ее теме, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрен современный уровень развития средств диагностики и контроля состояния окружающей среды, проведена оценка их основных достоинств и недостатков, сформулирована основная цель диссертационной работы и решаемые в ней задачи.

Вторая глава посвящена описанию результатов разработки и реализации серии датчиков и зондов, предназначенных для измерения высоты снежного покрова, вертикального профиля температуры снега, температурных профилей болот, почвы и мерзлотных грунтов, регистрации процесса таяния ледников и динамики профиля температур, оперативного контроля изменений уровня воды, а также солнечной радиации. Рассмотрены вопросы метрологического обеспечения разработанных датчиков.

В третьей главе рассмотрены принципы построения на базе беспилотного летательного аппарата портативной электронной метеостанции, способной регистрировать пространственное распределение полей основных метеовеличин: температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра на различных высотных уровнях в приземном слое атмосферы.

Четвертая глава посвящена описанию разработанного и реализованного автономного атмосферно-почвенного измерительного комплекса и его модификаций, предназначенных для оперативного контроля состояния природной среды на труднодоступных территориях, а также результатам апробации разработанных комплексов в различных геофизических регионах включая водные объекты, болота, мерзлотные грунты и горные системы. В качестве составных частей в разработанных комплексах использован ряд измерительных устройств, рассмотренных во 2-й и 3-ей главах диссертации.

1 Современный уровень развития технических средств контроля состояния природной среды

В условиях активных климатических изменений детальная и точная гидрометеорологическая информация становится как никогда ранее важной. Для её получения необходимо иметь развитую сеть станций метеорологического и экологического мониторинга, покрывающую значительные территории с необходимым пространственным разрешением. При этом климатические изменения необходимо регистрировать на труднодоступных территориях (в горных, болотистых и арктической зонах). Кроме того, весьма важным является регистрация многих, до сих пор не регистрируемых средствами Росгидромета, дополнительных метеовеличин не только у поверхности земли, но и на различных высотах в атмосферном пограничном слое (АПС). Существующие сети гидрометеорологических и аэрологических станций в нашей стране, особенно в Сибири и Арктике, имеют недостаточную плотность, а её увеличение сопряжено со значительными материальными, финансовыми и людскими затратами. Чтобы разрешить возникшую проблему необходимо принципиально новое современное оборудование, способное работать автономно в труднодоступных районах, включая условия Крайнего Севера. Таким требованиям удовлетворяют автоматизированные метеорологические комплексы (АМК).

Для организации сетей метеорологического и экологического мониторинга на труднодоступных территориях необходимо, чтобы оборудование, кроме необходимой точности измерений, удовлетворяло следующим требованиям:

- автономность работы в течение длительного времени (до 1 года и более);
- низкое энергопотребление и питание от возобновляемых источников энергии (солнечные батареи и др.);
- работоспособность в широком диапазоне условий эксплуатации;
- обеспечение хранения и оперативной передачи измеренной информации по беспроводным каналам связи, в т. ч. в режиме on-line;
- простота в установке (монтаже) и обслуживании в полевых условиях;

– доступная себестоимость, позволяющая создавать сети с необходимым пространственным разрешением.

Рассмотрим современный уровень развития средств контроля состояния окружающей среды, а также проведем оценку их основных достоинств и недостатков.

1.1 Автоматические метеорологические комплексы

1.1.1 Требования ВМО по контролю изменений стандартных и дополнительных метеорологических величин

Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО) [1] в категорию стандартных наблюдений на автоматической метеорологической станции (АМС) входят: наблюдения за скоростью и направлением ветра (на уровне 10 м), за атмосферным давлением, температурой и влажностью воздуха (на уровне 2 м), количеством выпадающих осадков, снежным покровом, облачностью и атмосферными явлениями в основные синоптические сроки 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 час по Гринвичскому времени (UTC).

Кроме стандартных метеорологических наблюдений на АМС, ВМО рекомендует [1] производить дополнительные виды наблюдений за физическими условиями окружающей природной среды, а именно, наблюдения за температурой и влажностью воздуха на различных уровнях от земной поверхности до 10 метров над верхней границей преобладающей растительности, температурой почвы на глубинах 5, 10, 20, 50 и 100 см, почвенной влагой на различных глубинах, турбулентностью и перемешиванием воздуха в нижнем слое (включая ветер на различных уровнях), за гидрометеорами и компонентами водного баланса (включая град, росу, туман, испарение с поверхности земли и открытых вод, транспирацию с сельскохозяйственных культур, сток, уровень грунтовых вод и др.), за солнечным сиянием, суммарной солнечной и остаточной радиацией, а также радиационным балансом над естественной растительностью (за 24 часа),

наблюдениями за метеоусловиями, наносящими непосредственный ущерб сельскохозяйственным культурам (заморозки, град, засуха, наводнения, штормы и суховеи), а также наблюдения за повреждениями, вызванными опасными агрометеорологическими явлениями.

Современные измерительные комплексы для контроля природной среды должны обеспечить проведение измерений большей части из отмеченных выше метеорологических величин в режиме реального времени. Исключение составляет лишь визуальная информация об облачности и атмосферных явлениях, автоматизация измерений большей части из которых является достаточно сложной задачей.

Требования по диапазонам и погрешностям измерений, предъявляемые согласно [2, 3] к измерению стандартных и дополнительных метеорологических величин, сведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Требования к измерениям метеорологических величин [2, 3]

Определяемая величина	Диапазон измерений (согласно РД 52.18.761 и ВМО №8 соответственно) [2, 3]	Предел допускаемой основной погрешности для внедряемых средств измерений	Требования к точности измерений (согласно ВМО №8)				
			Климатология	Авиационная метеорология	Синоптическая метеорология	Морская метеорология	Агрометеорология
Температура воздуха (t), °С	-60–60 -80–60	$\pm 0,2$ для $t > -30$; $\pm 0,3$ для $t \leq -30$	$\pm 0,3$ для $t \leq -40$; $\pm 0,1$ для $-40 < t \leq 40$; $\pm 0,3$ для $t > 40$	$\pm 0,4$ для $t = -60 \div 55$	$\pm 0,3$ для $t \leq -40$; $\pm 0,1$ для $-40 < t \leq 40$; $\pm 0,3$ для $t > 40$	$\pm 0,3$ для $t \leq -40$; $\pm 0,1$ для $-40 < t \leq 40$; $\pm 0,3$ для $t > 40$	$\pm 0,3$ для $t \leq -40$; $\pm 0,1$ для $-40 < t \leq 40$; $\pm 0,3$ для $t > 40$
Средняя скорость ветра ($V_{\text{ср}}$), м/с	0,5–55 0–75	$\pm 0,5$ для $V_{\text{ср}} \leq 5$; $\pm 6\%$ для $V_{\text{ср}} > 5$;	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$ для $V_{\text{ср}} \leq 5$; $\pm 10\%$ для $V_{\text{ср}} > 5$;	$\pm 0,5$ для $V_{\text{ср}} \leq 5$; $\pm 10\%$ для $V_{\text{ср}} > 5$;	± 1 узел (0,5 м/с) для $V_{\text{ср}} \leq 20$ узлов (10,3 м/с); $\pm 5\%$ для $V_{\text{ср}} > 20$ узлов;	$\pm 10\%$ для $V_{\text{ср}} > 1$

Определяемая величина	Диапазон измерений (согласно РД 52.18.761 и ВМО №8 соответственно)	Предел допускаемой основной погрешности для внедряемых средств измерений	Требования к точности измерений (согласно ВМО №8)				
			Климатология	Авиационная метеорология	Синоптическая метеорология	Морская метеорология	Агрометеорология
Максимальная скорость ветра (порывов), м/с	5–60 0,1–150	±10%	–	–	10%	–	–
Направление ветра, градус	0–360 0–360	±5	±10	±10	±5	±5	±10
Атмосферное давление, гПа	600–1100 500–1080	±0,3	±0,3	±0,5	±0,1	±0,1	–
Точка росы, °С	-60–35 -80–35	±0,5	±0,5	±1	±0,5	–	±0,1
Относительная влажность (f), %	10–100 10–100	±5 для $t > -10^{\circ}\text{C}$ и $f \leq 90$; ±3 для $t > -10^{\circ}\text{C}$ и $f = 1-100$; ±7 для $t \leq -10$	±3	±5 для $t > 0$; ±10 для $t \leq 0$	±3 для $f \leq 50$; ±2 для $f > 50$	–	±1
Продолжительность солнечного сияния, ч	0–24 0–24	±0,1	±0,1 за 1 ч	–	±0,1	–	–
Высота снежного покрова (h), см	0–1000 в горных районах, 0–500 на равнинах 0–2500	±1 для $h \leq 20$; ±5% для $h > 20$	±1	–	±1 для $h \leq 20$; ±5 % для $h > 20$	–	±10 % от значения
Плотность снега, г/см ³	0,1–0,8 0,1–0,8	±0,1	±0,1	–	–	–	–
Температура поверхности почвы, °С	-60–70 -50–50	±0,5	±0,2	–	±0,1	±0,1	–
Температура почвы на глубинах, °С	-40–50 -40–50	±0,2	–	–	±0,5	–	–
Количество осадков (X), мм	0–200 0–500	±(0,1+0,05·X)	±0,1 для $X \leq 5$; ±2% для $X > 5$	–	±0,1 для $X \leq 5$; ±2% для $X > 5$	±0,2 для $X \leq 5$; ±2% для $X > 5$	±0,2 для $X \leq 5$; ±2% для $X > 5$

Определяемая величина	Диапазон измерений (согласно РД 52.18.761 и ВМО №8 соответственно)	Предел допускаемой основной погрешности для внедряемых средств измерений	Требования к точности измерений (согласно ВМО №8)				
			Климатология	Авиационная метеорология	Синоптическая метеорология	Морская метеорология	Агрометеорология
Интенсивность жидких осадков ($I_{ж}$), мм/мин	0–10 0–10	$\pm(0,01+0,02 \cdot I_{ж})$	$\pm 0,5$ мм/ч для $I_{ж} \leq 25$ мм/ч; $\pm 2\%$ для $I_{ж} > 25$ мм/ч (среднее за 1 мин)	–	$\pm 0,02$ мм/ч для $I_{ж} < 2$ мм/ч; $\pm 0,2$ мм/ч для $I_{ж} = 2–10$ мм/ч (среднее за 10 мин)	–	$\pm 5\%$ за 15 мин
Интенсивность твёрдых осадков ($I_{т}$), мм/мин	0–1 0–1	$\pm(0,001+0,005 \cdot I_{т})$	–	–	–	–	–

1.1.2 Краткий обзор существующих метеорологических комплексов

Все современные АМС можно условно разделить на две группы: модульные метеостанции, состоящие из пространственно-разнесённых самодостаточных измерителей метеорологических величин, подключённых к единому контролеру (серверу) сбора, обработки и передачи данных, и компактные метеостанции, различные блоки которых механически и информационно объединены в едином корпусе. Рассмотрим основные характеристики современных АМС каждой из описанных выше групп.

Из зарубежных АМС, относящихся к первой группе, рассмотрим автоматические метеорологические станции MAWS201 и MAWS201M, которые разработаны и производятся фирмой Vaisala (Финляндия) [4, 5].

АМС MAWS201 [4] представляет собой портативную метеостанцию, предназначенную для временной установки (рис. 1.1а). Она позволяет измерять

атмосферное давление, температуру воздуха, относительную влажность и осадки. Дополнительно, MAWS201 может выполнять измерение температуры грунта/воды на разных глубинах, влажности грунта, суммарного солнечного излучения. Датчики установлены на легкой алюминиевой мачте-треноге. Масса метеостанции MAWS201 с 5 основными датчиками, панелью солнечных батарей и встроенным аккумулятором составляет 15 кг.

АМС MAWS201M [5] (рис. 1.1б) представляет собой более сложную систему метеорологических наблюдений с широким набором датчиков, которая предназначена для выполнения метеорологических наблюдений с высокими требованиями.



а



б

Рисунок 1.1 – Внешний вид автоматических метеостанций MAWS201 (а) и MAWS201M (б).

Метеостанция MAWS201M производится в двух вариантах: базовая система измеряет метеорологические параметры, а расширенная система также обеспечивает поддержку авиации. В базовой конфигурации в состав MAWS201M входит набор датчиков скорости и направления ветра, атмосферного давления, температуры воздуха, относительной влажности и осадков. Датчики установлены на алюминиевой мачте-треноге, аналогичной используемой в метеостанции

MAWS201. Масса метеостанции MAWS201M в базовой комплектации – 42 кг, в расширенной – 71 кг.

Характеристики отечественной АМС, относящейся к первой группе: АИИС «Погода» [6]. Она предназначена для обеспечения метеорологической информацией подразделений Росгидромета. АИИС «Погода» (рис. 1.2) позволяет производить автоматическое измерение температуры воздуха, температуры поверхности почвы, температуры почвы на глубине, относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра, атмосферного давления, высоты облаков, метеорологической (оптической) дальности видимости, количества осадков [7].

Характеристики других компактных АМС, выпускаемых за рубежом и в нашей стране.

Автоматическая метеостанция WXT520 (Vaisala, Финляндия) [4] представляет собой прибор в компактном корпусе без движущихся деталей (рис. 1.3а). В верхней части прибора располагается акустический датчик осадков. По периферии датчика осадков располагаются три равноудаленных друг от друга ультразвуковых измерительных преобразователя, составляющих датчик ветра.

В нижней части прибора внутри радиационной защиты располагаются датчики температуры, относительной влажности и атмосферного давления. Прибор устанавливается на вершине мачты/треноги.

Метеостанция METSENS 600 (Campbell Scientific, Inc., США) [8] также имеет вид небольшого моноблока, лишённого подвижных деталей (рис. 1.3б). Верхняя часть прибора представлена датчиком ветра, состоящим из четырёх ультразвуковых измерительных преобразователей, и оптического датчика осадков, располагающегося непосредственно на крышке датчика ветра. В нижней части корпуса метеостанции внутри радиационной защиты располагаются электронные датчики температуры воздуха, относительной влажности и атмосферного давления. Метеостанция крепится на вершине мачты/треноги.

пьезокерамических преобразователей, располагающихся в противоположных вершинах куба и образующих четыре пары излучателей и приемников ультразвука. В основании термоанемометра внутри цилиндрического корпуса располагаются емкостной датчик влажности воздуха и датчик атмосферного давления на основе микробарокоробки. Метеостанция АМК-03 устанавливается на вершине или боковом кронштейне мачты.



Рисунок 1.3. – Внешний вид автоматических метеорологических станций WXT520 (а), METSENS 600 (б), VantagePro2 Plus (в) и АМК-03 (г).

1.2 Аппаратура автоматизированного мониторинга и контроля основных метеовеличин приземной атмосферы

Метеодатчики, входящие в состав АМС, должны удовлетворять требованиям, указанным в табл. 1.1. Ниже представлены характеристики технических средств, используемых при измерении конкретных метеовеличин.

1.2.1 Контроль температуры воздуха

Приборами для измерения температуры служат термометры и термографы различной конструкции. В качестве рабочего вещества термометра можно использовать любое вещество, изменяющее свои свойства в зависимости от температуры окружающей среды. Такими свойствами, наиболее широко используемыми в метеорологических термометрах, являются тепловое расширение и изменение электрического сопротивления при изменении температуры.

Радиометры работают в инфракрасной части электромагнитного спектра. Специальные методы, основанные на измерении скорости распространения ультразвука в воздухе, также позволяют определить среднюю температуру воздуха [3].

Для измерения температуры в основном применяют электрические термометры. Основное их достоинство заключается в том, что выходной сигнал можно использовать для записи, хранения и передачи данных о температуре. Наиболее часто используемыми чувствительными элементами являются электрические элементы сопротивления, полупроводниковые термометры (термисторы) и термопары [3].

На АМС, используемых в Росгидромете, в качестве измерителя температуры воздуха используется совмещенный измеритель температуры и влажности воздуха HMP 45A и HMP 45D, производимый фирмой Vaisala [11]. Измерители HMP 45A и HMP 45D используются совместно с радиационной защитой DTR 502 или DTR 13 (Vaisala). Внешний вид измерителей HMP 45A/D и радиационной защиты DTR 502 представлен на рис. 1.4.

В измерителях HMP 45A и HMP 45D используются платиновые датчики сопротивления Pt 100 и Pt 1000 соответственно [12]. Измерение влажности производится с помощью емкостного датчика HUMICAP®180. Оба этих измерительных элемента, температуры и влажности, устанавливаются на конце зонда и защищены мембранным фильтром.

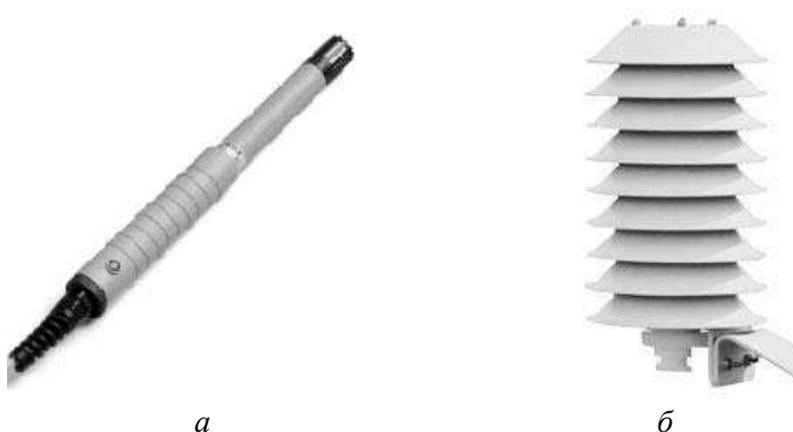


Рисунок 1.4 – Внешний вид датчика HMP 45A/D (а) и радиационной защиты DTR 502 (б).

1.2.2 Контроль влажности воздуха

Влажность воздуха – содержание водяного пара в воздухе, характеризуемое рядом величин. Наиболее часто в качестве характеристик влажности воздуха измеряются следующие величины: а) относительная влажность – процентное отношение давления имеющегося в воздухе водяного пара к давлению водяного пара, насыщенного относительно воды, при одинаковых значениях температуры и давления (%); б) удельная влажность – отношение массы водяного пара к массе влажного воздуха (г/кг); в) отношение смеси – отношение массы водяного пара к массе сухого воздуха (г/кг); г) точка росы – температура, при которой отношение смеси влажного воздуха, насыщенного относительно воды при заданном давлении, равно заданному отношению смеси (°С). На основе одной из этих характеристик при известных значениях температуры воздуха рассчитываются остальные.

К размещению датчиков влажности предъявляются требования, аналогичные требованиям для датчиков температуры [3]: а) обеспечение защиты датчика от прямого солнечного излучения, атмосферных загрязняющих веществ, дождя и ветра; б) контроль за тем, чтобы не создавался местный микроклимат внутри кожуха датчика или пробоотборника.

Для измерения характеристик влажности используются гравиметрический, конденсационный, психрометрический и абсорбционный методы. К последним относятся методы измерения размеров гигроскопического материала, измерения электрических свойств таких материалов и основанные на поглощении электромагнитного излучения водяным паром.

В АМС Росгидромета, в качестве измерителя влажности воздуха используется совмещенный измеритель температуры и влажности воздуха НМР 45А или НМР 45D (Vaisala) [11].

1.2.3 Контроль атмосферного давления

Согласно [3], атмосферное давление – это сила, действующая на единицу площади поверхности, обусловленная весом вышележащей атмосферы. Для измерения давления существует множество различных методов и основанные на них средств измерения. В метеорологических целях используются следующие виды средств измерения атмосферного давления: жидкостные барометры, барометры-анероиды, барометры с трубкой Бурдона, гипсотермометры и электронные барометры [3].

На сети Росгидромет используются электронные датчики атмосферного давления РТВ 220 и РТВ 330 (Vaisala) [11]. Внешний вид этих датчиков представлен на рис. 1.5.

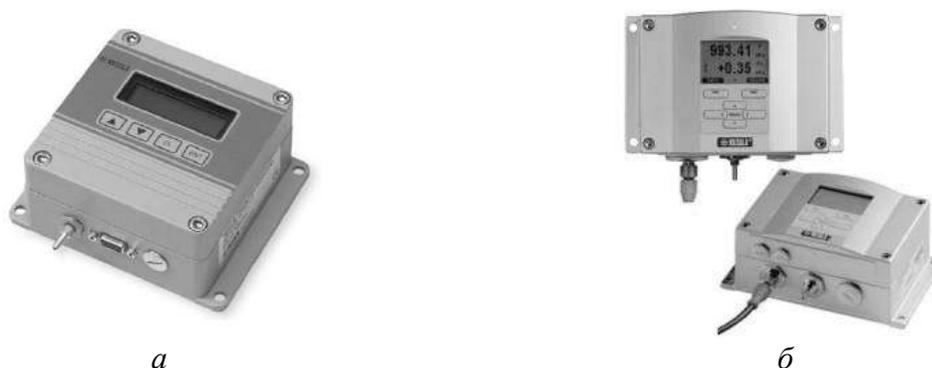


Рисунок 1.5 – Внешний вид электронных датчиков атмосферного давления РТВ220 (а) и РТВ 330 (б).

Эти датчики характеризуются высокой точностью и надежностью (достигается за счет резервирования) измерений атмосферного давления, а также устойчивостью к механическим и температурным воздействиям. В барометрах РТВ220 и РТВ330 используется кремниевый емкостной датчик абсолютного давления BAROCAP (Vaisala), имеющий отличный гистерезис и характеристики сходимости, а также отличную температурную и долговременную стабильность [13, 14].

1.2.4 Контроль скорости и направления ветра

Согласно руководству ВМО [3], скорость ветра – это трехмерная векторная величина со случайными мелкомасштабными колебаниями в пространстве и времени, наложенными на крупномасштабный организованный поток. Однако в гидрометеорологии ветер чаще рассматривается как двумерная векторная величина, заданная двумя числовыми значениями, характеризующими горизонтальное направление и скорость. Большинству пользователей информации о ветре требуется усредненный горизонтальный ветер, однако, во многих научных и (или) практических задачах требуется информация об изменчивости или порывистости ветра.

В большинстве приборов измерение характеристик ветра основано на оценке изменения положения подвижных элементов, свободно перемещающихся под влиянием ветра.

К средствам измерения характеристик ветра, активно разрабатываемым в последнее время относятся [3]:

- анемометры, основанные на принципе трубки Пито;
- акустические анемометры;
- анемометры с горячим диском;
- анемометры с горячей нитью.

В настоящее время в качестве основных средств измерения скорости и направления ветра в приземном слое на сети Росгидромет используются измерители, которые содержат подвижные элементы [15]:

- анеморумбометр М-47 – измеритель (рис. 1.6), предназначенный для дистанционного измерения мгновенной скорости и направления ветра и выдачи результатов измерений на стрелочных индикаторах пульта.
- анеморумбометр М63М-1 – измеритель (рис. 1.6), предназначенный для дистанционного измерения мгновенной, максимальной и средней скоростей и направления ветра в стационарных условиях и отображения результатов на индикаторах пульта.

- анеморумбограф М63–МР, более современный аналог анеморумбометра М63М–1 (рис. 1.6).
- датчик ветра М–127 – датчик скорости и направления ветра для работы в составе анеморумбометра или анеморумбографа.

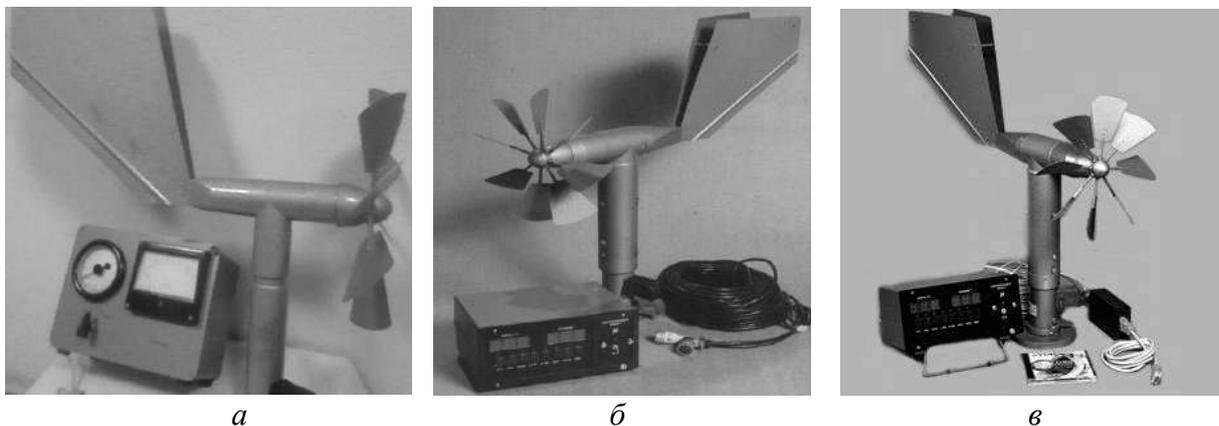


Рисунок 1.6 – Внешний вид анеморумбометра М-47 (а), анеморумбометра М63М-1 (б) и анеморумбографа М63МР (в).

Для измерения характеристик ветра (скорости и направления) в составе АМС в подразделениях Росгидромета также используется датчик Wind Monitor 05103 (R.M. Young Company, рис. 1.7) [11].



Рисунок 1.7 – Внешний вид датчика ветра Wind Monitor 05103 (R.M. Young Company) [16]

К измерителям, которые не содержат подвижных элементов относится метеостанция АМС-03 (ООО Сибаналитприбор, Россия, Томск) [10].

1.3 Аппаратура автоматизированного мониторинга и контроля дополнительных метеорологических величин

1.3.1 Контроль высоты снежного покрова

Снежный покров представляет собой слой снега на поверхности земли, который образуется в результате выпадения осадков. Высота снежного покрова определяется на основании измерений расстояния от поверхности земли до поверхности снежного покрова.

При производстве измерений на стандартных метеорологических (синоптических) станциях [2, 3, 17] для наблюдений за высотой снежного покрова до сих пор широко применяются следующие средства измерений:

- рейка снегомерная стационарная деревянная М-103 (М-103-І длиной 1800 мм и М-103-ІІ длиной 1300 мм) с ценой деления 1 см;
- рейка снегомерная переносная М-104 (М-104-І длиной 1800 мм и М-104-ІІ длиной 1300 мм) с ценой деления 10 мм;
- снегомер весовой ВС-43.

Снегомерные рейки не позволяют оперативно получать данные по интенсивности осадков, практически непригодны они и для автоматических измерений.

Для измерения динамики снежного покрова все большую актуальность приобретают дистанционные (локационные) средства контроля. В автоматических метеостанциях в последнее время используются ультразвуковые (точность $\pm 5 \dots 30$ мм) и лазерные (точность $\pm 1 \dots 5$ мм) измерители высоты снежного покрова.

В ультразвуковых измерителях высоты снежного покрова микропроцессорный датчик измеряет расстояние до препятствия и определяет либо измеренное расстояние, либо разность между заданной постоянной (уровень грунта) и измеренным расстоянием (уровнем снежного покрова). Фактическое расстояние рассчитывается по известной скорости звука и из измерений временной задержки отраженного акустического сигнала. Поскольку скорость

распространения звука в воздухе зависит от его температуры, то необходима температурная коррекция. Для температурной коррекции должны быть использованы данные о текущем значении температуры и давления в приземном слое атмосферы.

Одним из широко применяемых ультразвуковых измерителей высоты снежного покрова является SR50A [18]. Общий вид SR50A, закрепленного на штанге, и освещаемая им зона приведены на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Общий вид SR50A (а), зона формирования отраженного сигнала в зависимости от высоты расположения SR50A (б) [18].

При использовании в схеме активного зондирования лазерного излучения на измерения не влияют колебания температуры, в отличие от датчиков высоты снежного покрова, основанных на ультразвуковом методе измерения. Одним из таких устройств является Lufft 8365.10 [19]. Внешний вид Lufft 8365.10 представлен на рис. 1.9, а его характеристики представлены в табл. 1.2.

Ультразвуковые и лазерные уровнемеры обладают рядом общих недостатков. Наиболее значимым из них является налипание снега на датчики. Кроме того, для них необходимо иметь устойчивую опору для размещения датчиков над снежным покровом.



Рисунок 1.9 – Внешний вид лазерного измерителя уровня снежного покрова Lufft 8365.10 [19].

Таблица 1.2 – Основные характеристики способов измерения высоты снежного покрова

Тип	Снегомерная рейка, М-103М	Ультразвуковой, SR50А	Оптический (лазерный) Lufft 8365.10
Точность, мм	±10	±10 или 0,4% от высоты	±(1...5)
Диапазон, м	0...1,7	0...4	0...5
Автоматическая работа	нет	да	да
Температура окружающего воздуха, °С	-70...+50	-45...+50	-40...+50
Энергопотребление	–	2-3 Вт	1 Вт; <12 Вт при подогреве ($t < -40^{\circ}\text{C}$)

1.3.2 Контроль профилей температуры грунтов, снега и льда

Как указано ранее (см. подраздел 1.2.1) существует множество способов построения датчиков измерения температуры. Основные типы датчиков, используемые при измерении профиля температуры в почве, перечислены ниже:

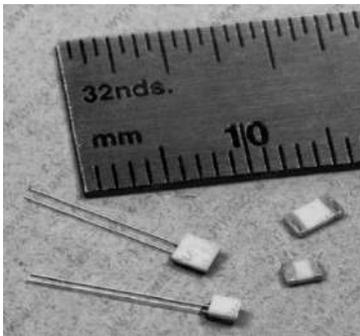
- термопреобразователи сопротивления (рис. 1.10а), платиновые терморезисторы [20] могут измерять температуры от минус 260 до +1100 °С;
- термопары (рис. 1.10б) – это относительные датчики и выходное напряжение будет зависеть от разности температур спая и «холодных» концов, диапазон измеряемых с их помощью температур от минус 200 до +2200 °С;

- кварцевые термопреобразователи [21, 22] применяются для высокоточного измерения температуры, частота кварцевого резонатора имеет зависимость от температуры, рабочий диапазон от минус 80 до +250 °С;
- полупроводниковые датчики температуры применяются для измерения температур в диапазоне от минус 100 до +200 °С (рис. 1.10в), могут работать в диапазоне от минус 55 до +125 °С и имеют постоянную времени от десятков секунд до минут.

Упомянем о бесконтактном способе измерения поверхности нагретых тел – пирометрии [23]. Пирометры (рис. 1.10в) не искажают контролируруемую среду, они для определения температуры тела используют распределение энергии в спектре его излучения. Измеряемый температурный диапазон составляет $-50 \div 2000$ °С. Недостатки – невысокая надёжность и точность.

Для всесезонных автоматизированных измерений температуры почвы необходимы не только датчики измерения температуры, но и наличие контроллера-регистратора и электрического интерфейса подключения датчиков.

Одним из полупроводниковых датчиков, удовлетворяющих условиям проведения метеорологических измерений, является датчик DS18B20 [24]. В нем в одном корпусе совмещен датчик температуры с контроллером, обеспечивающим преобразование аналогового сигнала в цифровой код и выполняющим интерфейсные функции.



а



б



в

Рисунок 1.10 – Миниатюрные термопреобразователи сопротивления (а), термопара (б), пирометрический датчик (в).

На автоматических метеорологических станциях Росгидромета, в качестве измерителя используется термометр почвенный АМТ-5 (рис. 1.11), предназначенный для измерений температуры почвы на разных глубинах [25].



Рисунок 1.11 – Термометр почвенный АМТ-5 [25].

1.3.3 Методы и средства контроля потока солнечной радиации

Солнечная радиация – это электромагнитная энергия, излучаемая солнцем. На верхнюю границу земной атмосферы поступает поток радиации в спектральном диапазоне 170–4000 нм с максимумом на длине волны 475 нм. Подстилающей поверхности достигает поток солнечной радиации, спектральный диапазон которой сокращается до 280–3000 нм, а максимум смещается в район 550 нм. Эту солнечную радиацию принято считать приходящей коротковолновой радиацией (или приходящим коротковолновым излучением).

Приборы для измерения солнечной радиации – актинометрические приборы – классифицируются по следующим критериям [3]; а) по типу переменной, подлежащей измерению; б) по углу зрения; в) по спектральной чувствительности и др.

Прямая солнечная радиация измеряется с помощью пиргелиометров (актинометров), приёмные поверхности которых устанавливаются перпендикулярно солнечным лучам. Для непрерывной регистрации излучения используются автоматические системы слежения за солнцем. Все абсолютные пиргелиометры современной конструкции используют в качестве приёмников

резонаторы и в качестве датчиков электрически калиброванные дифференциальные измерители теплового потока [3]. Такое сочетание даёт минимальные погрешности при измерениях солнечной радиации до $1,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$. Внешний вид показан на рис. 1.12.

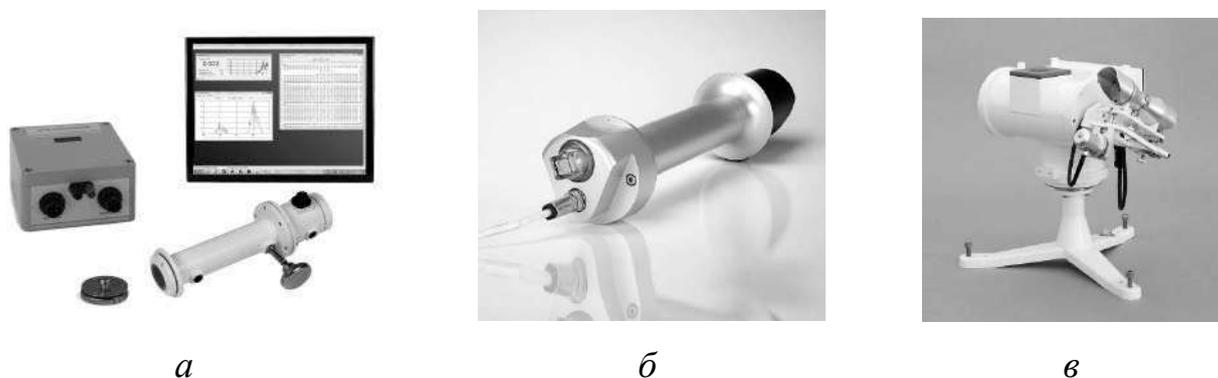


Рисунок 1.12 – Современные пиргелиометры: Пеленг СФ-12 (а), Kipp and Zonen CHP1 (б) и EKO Instruments MS-57 (в)

Солнечная радиация, приходящими из верхней полусферы в пределах телесного угла 2π на горизонтальную поверхность, и называемая суммарной, измеряется пиранометрами. При затенении приёмника от прямого солнечного излучения пиранометр измеряет рассеянное излучение. В современных пиранометрах в качестве чувствительного элемента используются термоэлектрические, фотоэлектрические, пироэлектрические или биметаллические элементы. Некоторые модели современных пиранометров представлены на рис. 1.13.

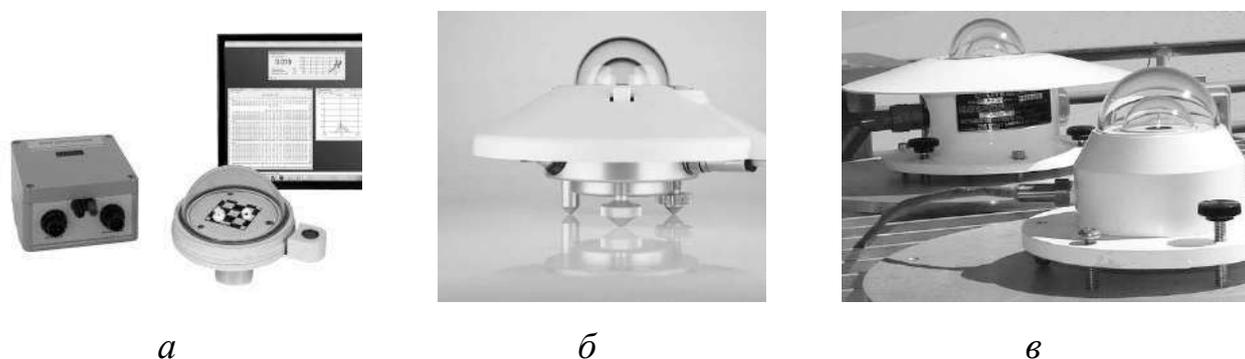


Рисунок 1. 13– Современные пиранометры: Пеленг СФ-06 (а), Kipp and Zonen CMP22 (б) и Eppley GPP (в)

Измерение УФ-излучения затруднено в связи с небольшим количеством энергии, достигающей поверхности Земли, изменчивостью содержания озона в стратосфере и быстрым увеличением потоков с длиной волны. Большое влияние оказывает также подстилающая поверхность из-за многократного рассеяния падающего на неё излучения. В измерениях УФ-излучения пока не разработаны стандарты обеспечения их качества и контроля качества измерений, для архивации данных [26]. Наиболее распространённые модели современных широкополосных УФ-радиометров представлены на рис. 1. 14



Kipp and Zonen
CUV5



EKO Instruments
MS-212W



Eppley TUVR

Рисунок 1. 14 – Современные широкополосные УФ-радиометры

На основании анализа методов и средств измерений солнечной радиации можно сделать следующее заключение: а) современное техническое и технологическое развитие средств измерений актинометрических величин позволяет отказаться от проведения ручных наблюдений; б) основным направлением развития актинометрических наблюдений является разработка полностью автоматических актинометрических станций для труднодоступных, удалённых и малонаселённых территорий; в) для проведения стандартных автоматизированных актинометрических наблюдений достаточны приборы первого класса по ISO 9060.

1.4 Бортовые автоматические метеостанции и системы

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) получили широкое применение во многих сферах хозяйственной деятельности, в том числе в области климато-экологического мониторинга [27].

В ФГБУ «ЦАО» в течение последнего десятилетия проводятся работы по разработке методов и средств мониторинга атмосферы на базе беспилотных летательных аппаратов. Использовались БПЛА как самолетного, так и мультироторного типов [28–32].

Беспилотные летательные аппараты самолетного типа имеют бóльший ресурс полета и, как правило, бóльшую грузоподъемность при аналогичных весогабаритных характеристиках. Однако для БПЛА самолетных типов достаточно сложно автоматизировать процесс измерений. Существующие доступные системы автопилотирования, осуществляющие взлет летательного аппарата и его полет по заданному маршруту не позволяют совершить посадку БПЛА самолетного типа в автоматическом режиме. Как правило, приземление таких летательных аппаратов происходит с помощью парашюта, что создает явные неудобства для их использования.

Для БПЛА с вертикальным взлетом и посадкой имеется возможность полностью автоматизировать процесс проведения измерений. Взлет, подъем, полет по требуемому маршруту и посадка летательного аппарата может быть осуществлена по заранее заданной программе. Оператору в этом случае достаточно подать команду на взлет. Дальнейший полет, проведение измерений и посадка будут выполнены в полностью автоматическом режиме. Такие системы как нельзя лучше подходят для создания средств измерения вертикальных распределений параметров атмосферы, а также для метеорологического и экологического обеспечения экологически опасных объектов [28–32]. В работе [33] произведен анализ результатов лабораторных и полевых испытаний разработанного метеозонда, размещаемого на платформе беспилотного летающего аппарата. Перечисленные выше работы по созданию метеостанций на БПЛА появились

одновременно с работами автора по созданию портативных электронных станций, которые описаны в подразделе 3.4 диссертации [34, 35].

1.5 Требования к структуре автономных комплексов для контроля природной среды с дополнительными возможностями

В настоящее время в мире разработаны различные методы и средства автоматизированного измерения стандартных и дополнительных метеорологических величин. Вместе с тем представленные на рынке измерительные системы не вполне соответствуют сформулированным требованиям как организаций ВМО, так и организаций, нуждающихся в оперативной гидрометеорологической информации, включая организации по контролю и предупреждению чрезвычайных ситуаций.

Рассмотрим эти вопросы более подробно.

Анализ производимых в настоящее время в нашей стране и за рубежом автоматических систем контроля за состоянием природной среды показал:

- станции, удовлетворяющие требованиям ВМО, обладают достаточно высокой ценой аппаратуры и программного обеспечения;
- как модульные метеостанции, состоящие из самодостаточных измерителей метеорологических величин, так и компактные метеостанции имеют сервер с накоплением измеренной информации и не включают в свой состав комплекса аппаратуры для непосредственной передачи измеренной информации по модемному или спутниковому каналам связи;
- как модульные, так и компактные метеостанции обладают крайне низкой степенью антивандальной защиты;
- большинство модульных и компактных метеостанций включают в свой состав измерители с движущимися элементами;
- при исследовании быстропротекающих процессов по специальным программам физики атмосферы во многих случаях требуется уход от ежечасных (или восьмисрочных) измерений, проводимых по рекомендациям ВМО, в сторону более короткого (минуты, секунды, доли секунды) такта измерений;

– одним из перспективных направлений развития мониторинга является разработка способов и технических средств, позволяющих регистрировать вариации метеорологических величин не в одной точке (на метеостанции), а в определенной области пространства вокруг метеостанции.

Поэтому развертывание на имеющейся технической базе в труднодоступных (горные, болотистые, арктические ландшафты) зонах сети автономных станций гидро-метеорологического и климато-экологического мониторинга на данный момент технически и экономически далеко не всегда является оправданным.

Анализ используемых на настоящий момент времени способов регистрации отдельных стандартных и дополнительных метеорологических величин также показал, что ряд из них требует существенного обновления.

В холодный период года на большей части территории нашей страны устанавливается устойчивый снежный покров, что требует регулярных измерений его высоты. Используемые стандартные методы измерения высоты снежного покрова (см. раздел 1.3.1) для сети автономных станций мониторинга – явно малопригодны.

Метод измерения высоты снежного покрова с помощью снегомерной рейки является архаичным и не может быть реализован без присутствия человека-оператора (наблюдателя). Аппаратура измерения высоты снежного покрова средствами дистанционного зондирования (акустический, радиоволновой, оптический диапазоны) предъявляет весьма жесткие требования к площадке, на которой проводятся измерения, и является достаточно дорогостоящей. Кроме того, эту аппаратуру невозможно разместить в местах, подверженных лавинной опасности, на затапливаемых участках речных долин и в аналогичных, подверженных опасности, местах.

Отметим очень важный фактор: на рынке практически отсутствует дешевая, фактически одноразовая (на один сезон), автономная аппаратура оперативного контроля состояния снежного или ледового покрова, способная работать в экстремальных условиях (на горных склонах, ледниках, речных долинах и т.д.) и передавать оперативную информацию по спутниковому и (или) мобильному каналам связи.

Выше уже отмечалось, что одним из перспективных направлений развития мониторинга является разработка способов и технических средств, позволяющих регистрировать вариации метеорологических величин в определенной области пространства вокруг метеостанции.

Дистанционные методы. Следует сразу же отметить, что применение дистанционных методов зондирования (акустических, радиоволновых, оптических) возможно только на крупных метеостанциях или в метеорологических обсерваториях.

Другим способом контроля области пространства вокруг АМС является размещение метеоаппаратуры на БПЛА. Преимуществом метеозондов, созданных на базе беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа, является возможность полностью автоматизировать процесс измерений пространственных распределений полей метеорологических величин в приземной атмосфере. Фактором, ограничивающим применение БПЛА, являются воздушные потоки, образованные работой винтов аппарата. Для уменьшения влияния винтов на процесс измерений температуры, влажности и давления датчики устанавливаются на вертикальной штанге в центре летательного аппарата. Для измерения скорости и направления ветра предлагается вынос измерительной аппаратуры за пределы зоны, возмущенной работой пропеллеров. Последнее значительно усложняет конструкцию летательного аппарата и делает его весьма громоздким.

Установлено, что большинство существующих датчиков и автономных метеокомплексов не всегда соответствуют требованиям, предъявляемым к аппаратуре, предназначенной для работы на труднодоступных территориях Сибири, Крайнего Севера и Арктики.

1.6 Выводы по главе 1

1) Выявленные аппаратурные проблемы при работе АМС на труднодоступных территориях явились основой, на которой были сформулированы основные цели и задачи диссертационной работы.

2) Развитие современных технологий позволяет создавать недорогие измерители (включая одноразовые), соответствующие сформулированным ранее требованиям. Таким образом, создание автономных систем и датчиков текущей диагностики и контроля состояния снежного и ледового покрова, текущего пространственного распределения полей метеорологических величин в окрестности АМС, включая атмосферу и грунтовые покровы, разработка способов построения аппаратуры для непосредственной передачи измеренной информации по модемному или спутниковому каналам связи для труднодоступных территорий является весьма актуальной задачей.

3) Вышеотмеченное определяет основную цель диссертационной работы:

– *создание на основе современных технологий автономного атмосферно-почвенного измерительного комплекса и автономных датчиков для контроля изменений ряда отдельных стандартных и дополнительных метеорологических величин, предназначенных для контроля природной среды на труднодоступных территориях*

и задачи, решаемые в данной работе:

- *разработать способ контроля изменений профилей температуры в грунтах, почвах, снежных и ледовых покровах и реализовать данный метод в технических средствах;*
- *разработать новые датчики для контроля потока солнечной радиации и уровня воды в природных водоемах;*
- *разработать и создать беспилотный регистратор пространственных полей температуры, давления, влажности, а также усредненных значений скорости и направления ветра в пограничном слое атмосферы;*
- *на основе предложенных методов и разработанных технических средств для контроля изменений профилей температуры в грунтах, почвах и ледовых покровах разработать и реализовать базовый автономный*

атмосферно-почвенный измерительный комплекс (АПИК), предназначенный для оперативного контроля состояния природной среды на труднодоступных территориях, обеспечивающий передачу измерительной информации на удаленный сервер и позволяющий удаленный доступ к элементам оборудования и базам данных сторонним пользователям.

2 Датчики и составные части приборов для контроля снежных и ледовых покровов, почв и грунтов, солнечной радиации

На основе проведенного в Главе 1 анализа современного состояния датчиков и систем автономного мониторинга объектов природной среды в данной главе представлены результаты разработки и реализации серии датчиков, предназначенных для измерения высоты снежного покрова, вертикального профиля температуры снега, температурных профилей болот, почвы и мерзлотных грунтов, регистрации процесса таяния ледников и динамики профиля температур, оперативного контроля изменений уровня воды в диапазоне, характерном для паводков и половодий, а также солнечной радиации.

2.1 Способ определения местоположения границы раздела двух сред различной плотности, основанный на выявлении экстремума производной в температурном профиле

Ряд земных покровов в годовом цикле имеет переменную высоту. К ним, в первую очередь, относятся снежный покров и уровень воды в водоёмах и грунте. Как снежный покров, так и уровень воды являются важнейшими параметрами, необходимыми для контроля и прогноза опасных явлений, а также для изучения климатических изменений.

Традиционно уровень снега (или воды) измеряется посредством мерной линейки [17] (см. табл. 1.2), обеспечивающей точность ± 10 мм. Мерные рейки не позволяют получать оперативные данные, они практически непригодны для автоматических измерений.

В последнее время используются ультразвуковые (точность $\pm(5...30)$ мм) и лазерные (точность $\pm(1...5)$ мм) измерители, применяемые в автоматических метеостанциях. Ультразвуковые и лазерные уровнемеры обладают целым рядом недостатков. В их числе: отказы, из-за налипания снега на датчики; сложность установки, связанной с необходимостью иметь устойчивую опору для размещения

датчика над снегом; ошибки, связанными с нестабильностью опоры; узкий рабочий температурный диапазон.

Одним из возможных способов автоматического измерения высоты снежного покрова (или уровня воды) с высоким пространственным разрешением может быть способ, основанный на определении границы воздух-снег (воздух-вода, воздух-лёд) по нахождению температурных экстремумов в вертикальном профиле температуры.

Рассмотрим динамику вариаций поля температур в системе грунт-атмосфера, приведенную на рис. 2.1 для различных сезонов года. Как следует из этого рисунка, наибольший градиент температуры наблюдается при переходе из одной среды в другую. Перенос тепловой энергии из одной термодинамической системы в другую всегда происходит в одном направлении – от среды с более высокой температурой к среде с более низкой. Теплообмен между средами может осуществляться благодаря трём физическим явлениям: теплопроводность; конвекция; излучение. Теплопроводность – это передача тепла с помощью столкновений молекул. Суть конвекции заключается в способности газа (жидкости) менять свою плотность с изменением температуры, благодаря чему происходит теплопередача. Излучение представляет собой способ передачи тепловой энергии при помощи электромагнитных волн.

В воздушной среде основными механизмами передачи тепла являются конвекция и теплопроводность, в случае снежных покровов – теплопроводность, для водных сред – конвекция и теплопроводность, а для границы раздела сред – излучение и теплопроводность. Вода, снег и лёд обладают теплоёмкостью большей чем воздух (таблица 2.1, рисунок 2.1). Следует учитывать, что плотность воды (льда) почти на 3 порядка выше плотности воздуха.

Суточные вариации и метеорологические явления в приземном слое атмосферы приводят к весьма сильным вариациям температуры атмосферы. Вода, снег, лёд плохо проводят тепло, поэтому в естественных условиях передача тепла от поверхности вглубь или в обратном направлении происходит чрезвычайно медленно.

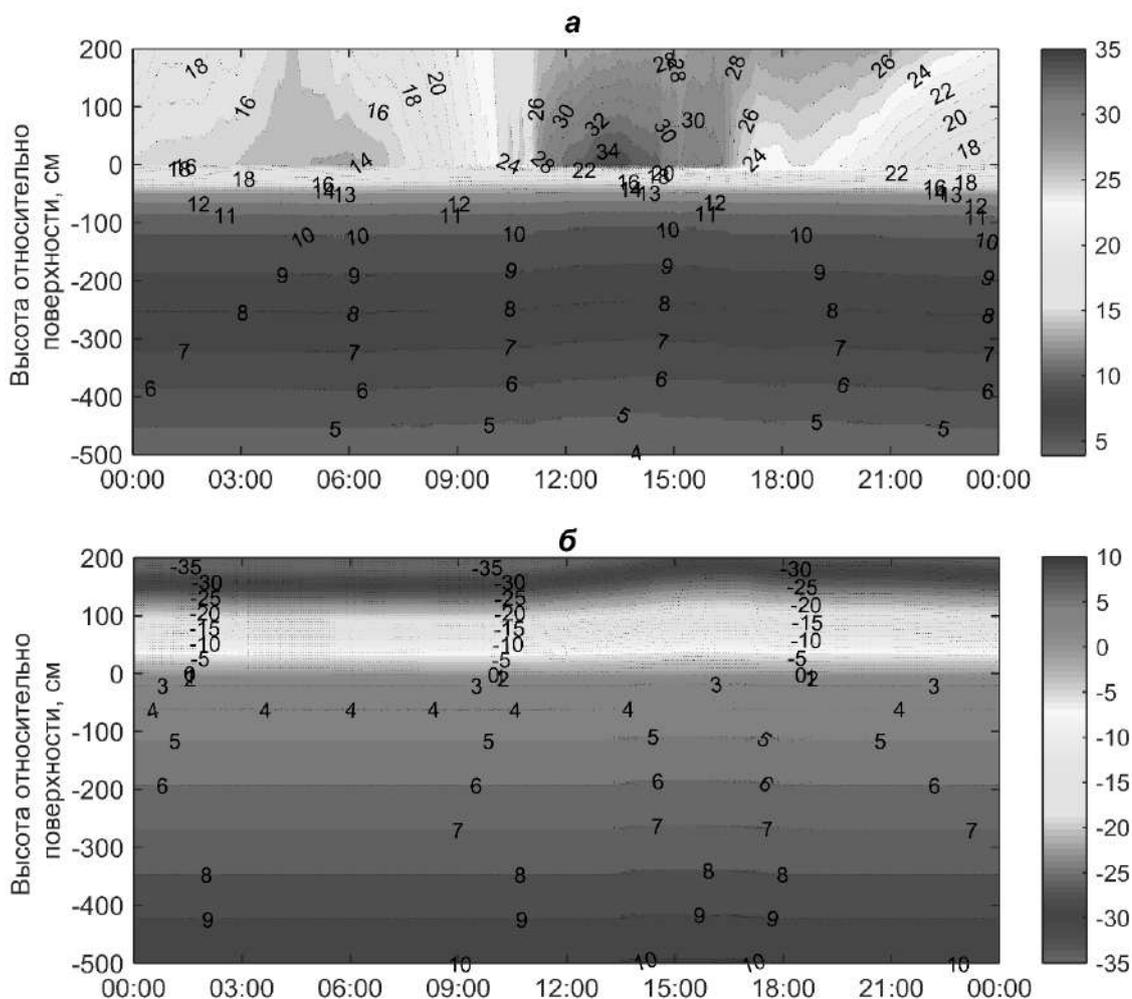


Рисунок 2.1 – Вертикальное поле температуры на суточном интервале в системе атмосфера-грунт: а) данные за 23.06.2016 г.; б) данные за 21.01.2018 г.; ось абсцисс – местное время

Таблица 2.1 – Термодинамические свойства природных сред.

	Воздух, $t = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$	Вода, $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	Снег		Лёд, $t = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$
			$\rho=200\text{ кг/м}^3$	$\rho=560\text{ кг/м}^3$	
λ , Вт/м·град	0,023	0,56	0,151	1,05	2,39
C_p , Дж/кг·град	1009	4252	–	2093	1943

Примечание. Здесь: t – температура, ρ – плотность, λ – теплопроводность, C_p – теплоемкость.

Именно эти обстоятельства являются основными в формировании особенностей временных вариаций вертикального профиля температуры при переходе из одной среды в другую, а определение точки перегиба в вертикальном профиле температуры позволяет определить высоту снежного покрова с необходимой точностью.

Таким образом, для реализации описанного способа необходимо создать техническое средство, обеспечивающее измерение вертикального профиля температуры в двух средах с высокой разрешающей способностью, позволяющей определить границу раздела двух сред с погрешностью в несколько миллиметров.

2.2 Средства автоматизированного контроля температуры

Температура является одним из главных параметров, отражающим состояние среды. Без непрерывных измерений температурных профилей почвы и грунта не возможен полноценный мониторинг климатических изменений. Для того чтобы измерить температуру среды необходимо привести датчик температуры в состояние термодинамического равновесия со средой, а затем измерить температуру самого термометра.

Существует множество способов измерения температуры и соответствующих датчиков для ее измерения, которые были рассмотрены в п. 1.3.2. Наиболее подходящими для всепогодных автоматизированных измерений температурных профилей различных грунтов являются термопреобразователи сопротивления, имеющие контроллер-регистратор и электрический интерфейс подключения датчиков.

Для решения наших задач наилучшим образом подходит цифровой датчик DS18B20 [24], показанный на рисунке 2.2 и имеющий достаточно малые размеры. У этого датчика в одном корпусе совмещен полупроводниковый датчик температуры с контроллером, который обеспечивает высокую точность преобразования аналогового сигнала датчика в цифровой код и выполняет интерфейсные функции. Цифровые интегральные датчики производятся в широком ассортименте с интерфейсами I²C, SPI, 1-Wire, SMBus и др. Благодаря помехоустойчивости цифрового сигнала датчик может находиться далеко от контроллера. Датчик DS18B20 имеет небольшую цену, интерфейс 1-Wire, уникальный серийный идентификатор у каждой микросхемы, что позволяет на один 3-х жильный кабель подключить 100 и более датчиков.

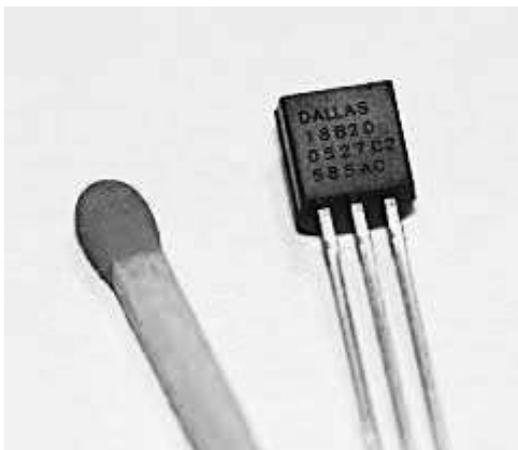


Рисунок 2.2 – Полупроводниковый датчик температуры с контроллером DS18B20 (справа на рисунке) в сравнении со спичечной головкой (слева)

Для считывания информации с датчиков можно использовать любые микроконтроллеры. DS18B20 предназначен для работы в диапазоне температур от минус 55 °С до +125 °С с погрешностью $\pm 2^{\circ}\text{C}$, и с погрешностью $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от минус 10°С до +85 °С. Разрешающая способность равна 0,0625 °С. Напряжение питания в пределах от 3,0 до 5,5 В. Время измерения составляет 0,75 с, а постоянная времени в воздухе – около 45 с.

На основе рассмотренных датчиков температуры автором созданы различные измерители и приборы для определения высоты снежного покрова, регистратор таяния ледников и температурный зонд, созданный для измерения профиля температуры почвенных покровов. Описание этих средств измерений представлено ниже в данной главе. Большинство из рассматриваемых измерителей в последующем были использованы в созданном автором атмосферно-почвенном комплексе (см. главу 4).

2.3 Датчик высоты снежного покрова, основанный на анализе вертикального профиля температуры

Для решения задачи автоматического измерения высоты снежного покрова с высоким пространственным разрешением на территории Сибири и Арктики был выбран способ определения границы воздух-снег по нахождению температурных

экстремумов в вертикальном профиле (см. п. 2.1). В отличие от радарных способов, этот метод более скрытен, может работать при более низких температурах окружающей среды и имеет пониженные требования к устойчивости опоры, на которой устанавливается измеритель.

Наиболее близким по технической реализации является изобретение [36], где измерительный зонд выполнен в виде вертикально устанавливаемой рейки, на которой размещены на известном равном расстоянии друг от друга дистанционные датчики температуры, выходы которых подключены к метеорологической автоматической станции, регистрирующей их показания.

Недостатком данного устройства-прототипа является низкая точность измерения. Провода от каждого датчика температуры увеличивают паразитную теплопередачу между датчиками на зонде, уменьшают точность измерения. Кроме того, рейка с датчиками температуры, является громоздкой, её значительные габариты оказывают влияние на естественный снежный покров, как за счёт образования «наддувов» и «выветриваний», а также за счёт оттаивания снега около рейки из-за её нагрева солнцем и как следствие, влияет на достоверность измерений.

Автором запатентован датчик высоты снежного покрова [37] в виде рейки, состоящей из трехпроводной печатной платы с установленными на ней высокоточными цифровыми термометрами, которые подключены по однопроводному интерфейсу к регистратору. Рейка размещена в белой термоусадочной трубке.

Однопроводной интерфейс, соединяющий печатную плату с регистратором, располагают под землей, что позволяет дополнительно снизить влияние конструкции на температурный режим в месте регистрации высоты снежного покрова.

На рисунке 2.3 приведена электрическая схема датчика высоты снежного покрова, а на рисунке 2.4 – показана конструкция его печатной платы, с размещенными на ней датчиками. Размер платы с напаянными датчиками $9,5 \times 8 \times 400$ мм.

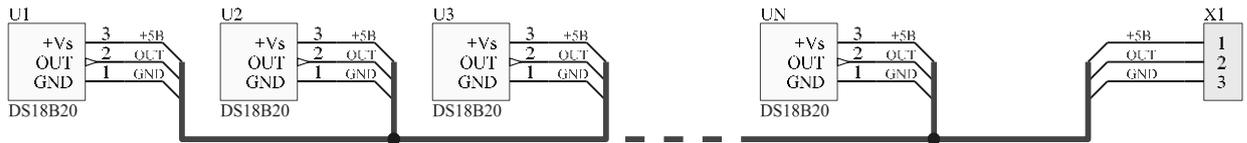


Рисунок 2.3 – Электрическая схема датчика высоты снежного покрова



Рисунок 2.4 – Конструкция печатной платы датчика высоты снежного покрова с размещенными на ней датчиками температуры DS18B20 при пространственном разрешении 25 мм

Количество используемых датчиков температуры зависит от требуемой высоты измерения снежного покрова. Разрешаемая способность конструкции зависит от размеров используемых датчиков температуры и минимального расстояния между ними. Для применяемых датчиков температуры DS18B20, исходя из их габаритных размеров и необходимого расстояния, обеспечивающего требуемый тепловой зазор, минимальная разрешающая способность по высоте составляет 5 мм. На рисунке 2.4 показана трехпроводная печатная плата датчика высоты снежного покрова с расстоянием между датчиками DS18B20 равным 25 мм. При необходимости измерения высоты снежного покрова более 400 мм соединяют последовательно несколько таких печатных плат.

На рисунке 2.5 приведена монтажная схема датчика высоты снежного покрова и его внешний вид при натурных измерениях. Для устойчивости конструкции датчика, при длине рейки более 70 см, её верхнюю часть закрепляют с помощью треноги. Устройство работает следующим образом. Зонд 2 с цифровыми термометрами 1, каждый из которых установлен на заданной высоте, устанавливают вертикально, фиксируя её в верхней точке с помощью треноги 3. Регистратор 5 с заданным периодом одновременно считывает показания всех цифровых термометров, сохраняет их в памяти, с последующей передачей в компьютер для вычисления высоты снежного покрова. Расстояние между термометрами (поз. 1) может составлять от 1 см.

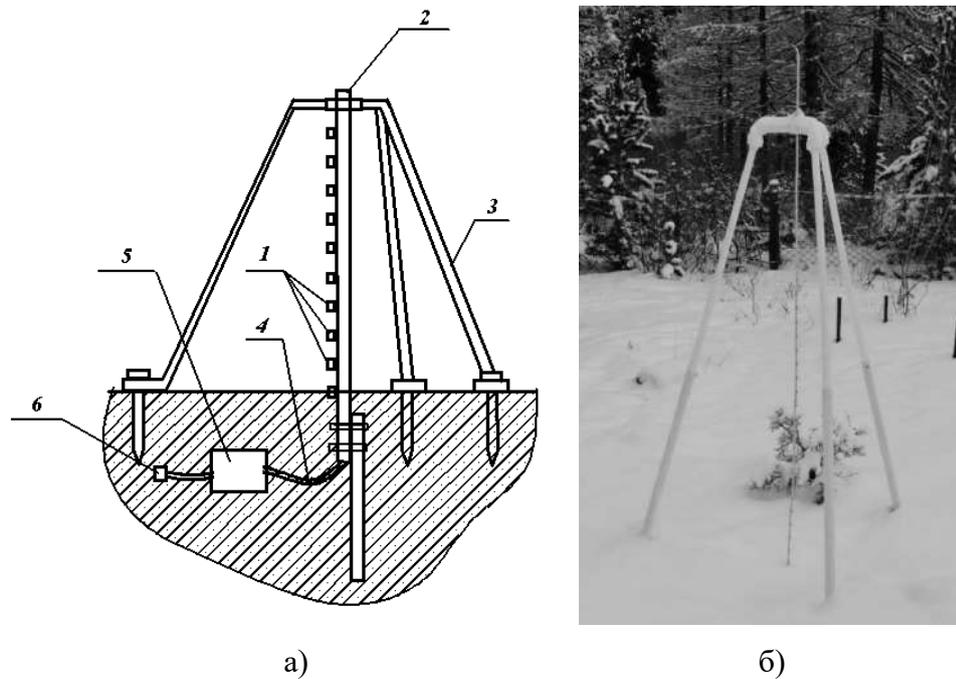


Рисунок 2.5 – Датчик высоты снежного покрова: а) монтажная схема: 1 – цифровые термометры (датчики температуры); 2 – измерительная рейка; 3 – тренога 4 – однопроводной интерфейс; 5 – регистратор; 6 – соединительный кабель USB; б) внешний вид датчика при проведении измерений

Высота снежного покрова рассчитывается, например, по превышению заданного значения разницы показаний между двумя соседними датчиками, начиная с верхнего.

Разработанная конструкция датчика обеспечивает:

- при применении измерительной рейки в виде протяженной трехпроводной печатной платы с установленными на ней датчиками температуры уменьшить количество соединительных проводников до 3-х и снизить паразитную теплопередачу между датчиками на рейке, уменьшающую точностные характеристики;
- за счёт уменьшения поперечных габаритов рейки уменьшить влияние рейки на естественный снежный покров, как за счёт возможного образования «наддувов» и «выветриваний», а также за счёт оттаивания снега около зонда из-за его нагрева солнцем;
- предлагаемый датчик высоты снежного покрова имеет возможность использовать большее количество (50...300) цифровых термометров, что позволяет увеличить разрешающую способность и точность измерения.

Результаты мониторинга уровня снега и профиля температуры, полученные с помощью устройства, установленного на метеоплощадке ИМКЭС СО РАН, иллюстрируются на рисунке 2.6.

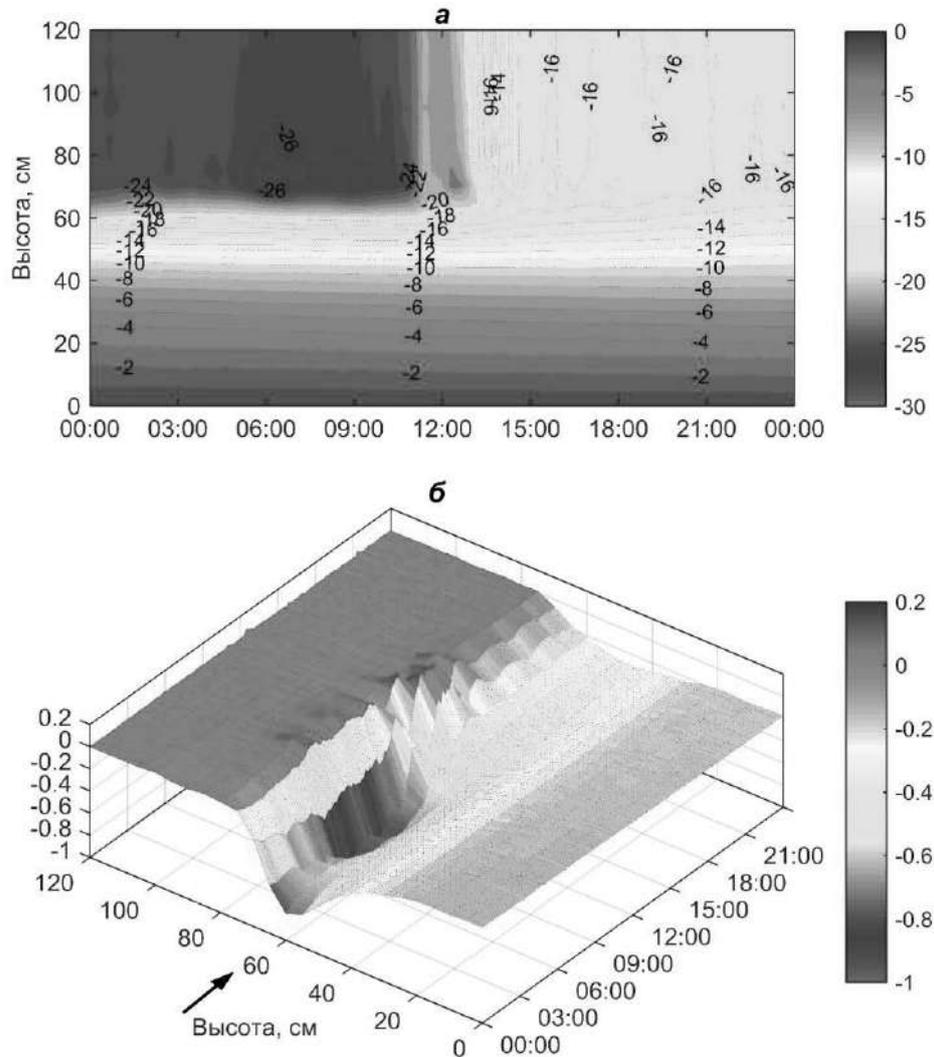


Рисунок 2.6 – Пример вертикального профиля температуры за 01.02.2020: а) поле температур по высоте (цифры на рисунке – изолинии значений температуры); б) поле производной температуры по высоте; стрелкой указана высота снежного покрова

Рисунок 2.6а показывает зависимость изменения поля температур T в снежном покрове и атмосферного воздуха над ним по высоте h в течение суток. На рисунке 2.6б показано поле производной dT/dh , которое отражает перегиб в вертикальном профиле температуры, обусловленный процессами поглощения излучения и теплопередачи на границе между снежным покровом и атмосферой.

За анализируемые сутки температура возросла от $-25,3$ до $-15,5$ °С, давление понизилось с 1021,8 до 1015,8 мбар. В первой половине интервала отмечено ухудшение видимости, а конце – зарегистрировано выпадение слабых атмосферных осадков (снег). Вариации температуры приповерхностного слоя снега после 12:00 (правая часть рисунка 2.6а) связаны с соответствующими изменениями потока солнечного излучения.

2.4 Одноразовые датчики контроля высоты снежного покрова, применяемые для оценки лавинной опасности

Сход снежных лавин представляет для людей реальную опасность. Заблаговременное оповещение об этом явлении существенно снижает возможный урон и обеспечивает вызов искусственного схода лавины. Основными данными для прогнозирования схода снега являются высота и вертикальный профиль температур снежного покрова.

В основе запатентованного автором измерителя [38] использована вышеописанная методика определения высоты снежного покрова (толщины снега) по температурному перепаду на границе сред. При этом для повышения прочности температурного зонда, датчики температуры устанавливаются в жёсткую пластиковую трубу, что даёт возможность быстрой установки множества устройств, путем сброса с вертолета в труднодоступных местах и удаленного сбора показаний для оперативного прогнозирования схода лавин.

Кроме датчиков и контроллера в длинном жестком пластиковом корпусе располагаются: радиомодем, например, GSM-модем (глобальная система сотовой связи), антенна, датчики положения (гироскопы, компас), GPS-приемник, блок автономного питания. Снизу корпус имеет острый наконечник, позволяющий устанавливать устройство в снег с помощью вдавливания или вбивания.

На рис. 2.7 показана конструкция такого устройства. Оно состоит из корпуса 1, верхнюю часть которого закрывает крышка 2, антенны 3, GPS-приемника 4, компаса 5, датчиков положения 6, цепочки датчиков температуры 7, радиомодема

8, контроллера 9, источника питания 10, нижняя часть трубы заканчивается острым наконечником 11.

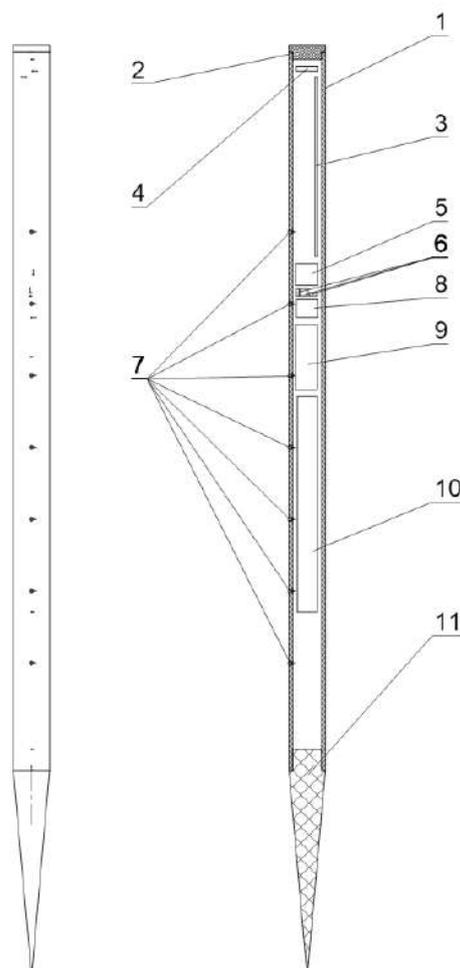


Рисунок 2.7 – Конструкция устройства: 1- жесткий пластиковый корпус; 2 – крышка; 3 – антенна; 4 – GPS-приемник; 5 – компас; 6 – датчики положения (электронные гироскопы); 7 – цепочка датчиков температуры; 8 – радиомодем; 9 – контроллер; 10 – гальванические элементы; 11 – острый наконечник

Внутри жесткого пластикового корпуса 1 по всей его длине закрепляется цепочка датчиков температуры 7. В верхней части корпуса крепится антенна 3. Внутри корпуса также располагаются: комплект аккумуляторов (комплектуемый солнечной батареей, располагаемой на поверхности верхней части корпуса) или гальванических элементов большой емкости 10, контроллер 9, датчики положения (электронные гироскопы) 6, компас 5, GPS-приемник 4 и радиомодем 8 (например, GSM-модем).

Устройство работает следующим образом. Корпус 1 устройства заглубляется в снег острым наконечником 11, путем, например, сбрасывания его с вертолета.

Верхний конец корпуса закрыт крышкой 2, и может быть оборудован стабилизатором для вертикального выравнивания при сбросе с вертолета, либо креплениями, позволяющими устанавливать устройство вручную в отсутствие снега. Контроллер считывает показания датчиков температуры, GPS-приемника, компаса и электронного гироскопа, записывает их во встроенной памяти контроллера, а также через радиомодем отправляет в базу данных на удаленном сервере для оперативного анализа. Программное обеспечение на удаленном компьютере, используя информацию о температурном профиле вдоль датчика, определяет положение верхней границы снежного покрова. Далее, используя данные о GPS-координатах точки установки, наклоне склона (из топографической карты), и наклоне датчика, программное обеспечение рассчитывает вертикальный уровень снега в данной точке.

Располагая большим количеством датчиков, установленных сбрасыванием с вертолета либо при помощи лыжников, зная GPS-координаты точек их установки, уровень снега и вертикальные профили температур в этих точках, можно оперативно оценить степень лавинной опасности. Совместное использование большого количества устройств и специального программного обеспечения позволит проводить исследования динамики толщины снежного покрова и температурных профилей скоплений снега на горных склонах для заблаговременного прогноза схода лавин.

2.5 Автоматический регистратор таяния ледников Куракова

В наше время во многих частях нашей планеты наблюдается таяние ледников. Для проведения в республике Алтай автоматических измерений скорости таяния ледников и температуры в толще ледника был предложен регистратор, использующий способ определения положения верхней границы ледника путем отслеживания разности температур между находящимся надо льдом температурным датчиком и датчиком, находящимся ниже уровня льда [39].

Регистратор таяния ледников содержит термокосу (рисунок 2.8) из датчиков температуры (D1, D2, D3 ...DN), расположенных на равном друг от друга расстоянии, которые образуют сегменты A1, A2, AN). Сегменты последовательно соединены между собой гибким кабелем (длиной $0,5 \div 0,9$ м). Датчики температуры и, соединяющие их кабели, размещены в защитном кожухе, который выполнен из полимерной оболочки. Верхний конец термокосы подключается к коллектору (устройству считывания, хранения, обработки и отображения данных). Особенность конструкции состоит в том, что очередные n датчиков температуры объединены в жесткие сегменты, в которых обеспечено равное расстояние между датчиками температуры (см. чертеж печатной платы на рисунке 2.4). Сегменты связаны между собой гибкими кабелями таким образом, чтобы по мере таяния льда выступающие над поверхностью сегменты термокосы, установленной в скважине с упором в дно, складывались под действием силы тяжести. Электрическая схема термокосы приведена на рисунке 2.8. Максимальный поперечный габарит термокосы определяется шириной печатной платы в изоляции (менее 11 мм).

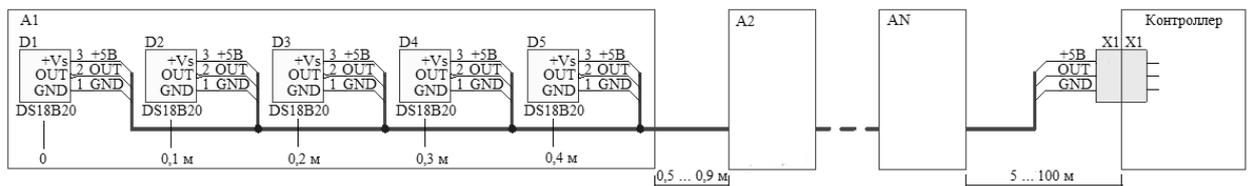


Рисунок 2.8 – электрическая схема регистратора таяния ледников (термокосы):

A1, A2 ... AN – сегменты с датчиками DS18B20 (D1÷D5) на печатной плате

Разработанная конструкция дает возможность определения положения верхней границы ледяного покрова, обеспечивает установку термокосы вертикально с упором в дно скважины, снижение механических нагрузок на измерительный элемент (термокосу) за счет ее автоматического складывания (см. рисунок 2.9).

Автоматический регистратор таяния ледников Куракова состоит из термокосы 1, устанавливаемой в скважину 2, пробуренную в леднике 3, контроллера для считывания, хранения и обработки данных 4 и соединительного кабеля 5. Термокоса включает жесткие сегменты 6, каждый из которых содержит

несколько датчиков температуры, и гибкие сочленения между ними 7, которые позволяют термокосу складываться под действием силы тяжести. Контроллер может быть оборудован каналом беспроводной связи (например, GSM), для отправки информации в базу данных на удаленный сервер для анализа, а также может содержать аккумулятор, заряжающийся от солнечной батареи. Дополнительно контроллер может быть оборудован GPS-датчиком для изучения движения ледника.

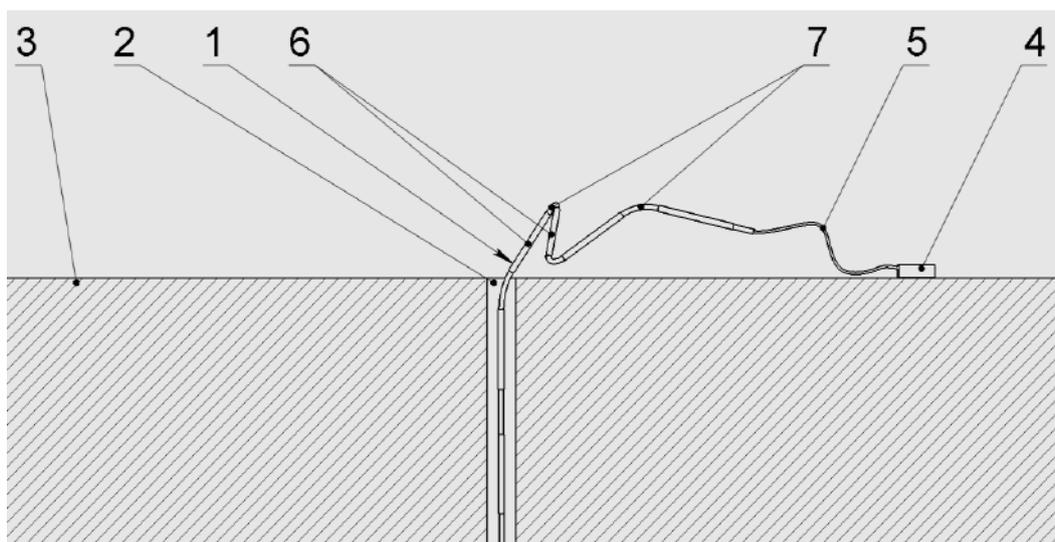


Рисунок 2.9 – Автоматический регистратор таяния ледников Куракова: 1 – термокоса; 2 – скважина; 3 – ледник; 4 – контроллер; 5 – соединительный кабель; 6 – жесткий сегмент; 7 – гибкое сочленение

Работает устройство следующим образом: термокосу устанавливают в верхний слой ледника (в вертикальную скважину), упирая нижний конец термокосы в дно скважины. Верхний конец термокосы подключают к контроллеру с помощью гибкого соединительного кабеля. Питание термокосы осуществляется от внутреннего источника питания контроллера. По мере таяния верхнего слоя ледника, глубина скважины уменьшается, верхние сегменты 6 лишаются опоры, сочленения 7 сгибаются под действием силы тяжести, и термокоса складывается на поверхности ледника, оберегая, таким образом, термокосу от чрезмерных механических нагрузок. Датчики температуры в термокосу определяют температуру в различных ее точках. Контроллер периодически (например, раз в час) считывает эти данные и сохраняет во встроенной памяти. Данные либо

автоматически передаются на удаленный сервер для анализа по беспроводному каналу связи (например, GSM), либо эпизодически (1-2 раза в год) к контроллеру подключают переносной компьютер и считывают накопленные данные.

Температурный режим датчиков, находящихся в скважине, отличается от температурного режима датчиков, лежащих на поверхности, что позволяет, анализируя данные с датчиков температуры, вычислять уровень льда в леднике. Положение верхней границы ледяного покрова определяется, например, по превышению заданного порогового значения разницы показаний между двумя соседними температурными датчиками, начиная с верхнего.

Запатентованное устройство позволяет измерять уровень тающего массива льда/снега, начиная с любого момента существования этого массива.

Если регистратор дополнительно оборудовать приемником сигнала спутникового позиционирования GPS-датчиком, то можно фиксировать движение ледника.

Внешний вид изготовленной термокосы со сложенными сегментами показан на фото рисунка 2.11в.

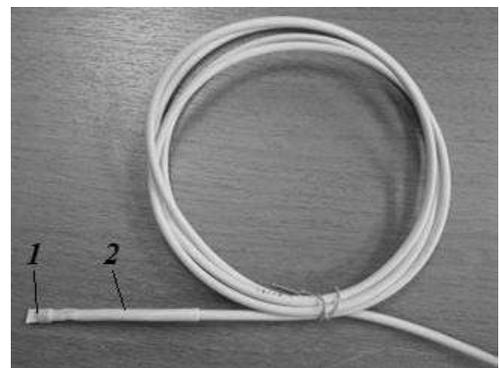
2.6 Температурные зонды, предназначенные для непрерывного контроля профиля температуры в почве и грунтах

Разработанные автором температурные зонды можно поделить на две группы: одnodатчиковые и многодатчиковые. Зонд первой группы представляет собой один температурный датчик, размещенный на конце кабеля (рисунок 2.10), который может устанавливаться на разную глубину в пробуренной скважине. Зонды второй группы подразделяются на несколько видов в зависимости от их конструктивного исполнения (рисунок 2.11). С целью расширения функциональных возможностей при автоматизации процесса климато-экологических наблюдений во всех зондах использовались цифровые температурные датчики DS18B20. Их применение позволило изготавливать зонды, содержащие более 80-ти температурных датчиков.

Одиночный зонд-датчик температуры (рисунок 2.10) состоит из датчика DS18B20, припаянного к 3-х жильному кабелю с малым сечением проводов для минимизации теплопередачи по кабелю. Соединение датчика с кабелем герметизируется термоусадочной трубкой. Это позволяет наиболее точно измерять температуру почвы, но при этом необходим трудоёмкий процесс выкапывания шурфа (скважины) на требуемую глубину для установки датчика и прокладки внешней части соединительного кабеля параллельно поверхности почвы на дистанции около 1 м для уменьшения влияния температуры воздуха на результаты измерений.



a



б

Рисунок 2.10 – Одиночный зонд-датчик температуры, размещенный на конце кабеля: *a* – электрическая схема; *б* – внешний вид: 1 – датчик DS18B20; 2 – соединительный кабель

Одиночные датчики DS18B20 припаиваются к кабелю, который подключается к блоку микроконтроллерного регистратора.

Для измерения температурных профилей существенно проще расположить датчики DS18B20 в одном зонде с размещением их на требуемых расстояниях от поверхности земли. Зонд на основе полипропиленовой трубы (рисунок 2.11а) за счёт прочности конструкции может быть легко установлен в болото одним человеком без применения буров, что не нарушает структуру болота и обеспечивает хороший тепловой контакт датчиков с измеряемой средой при измерении профиля температуры в болоте.

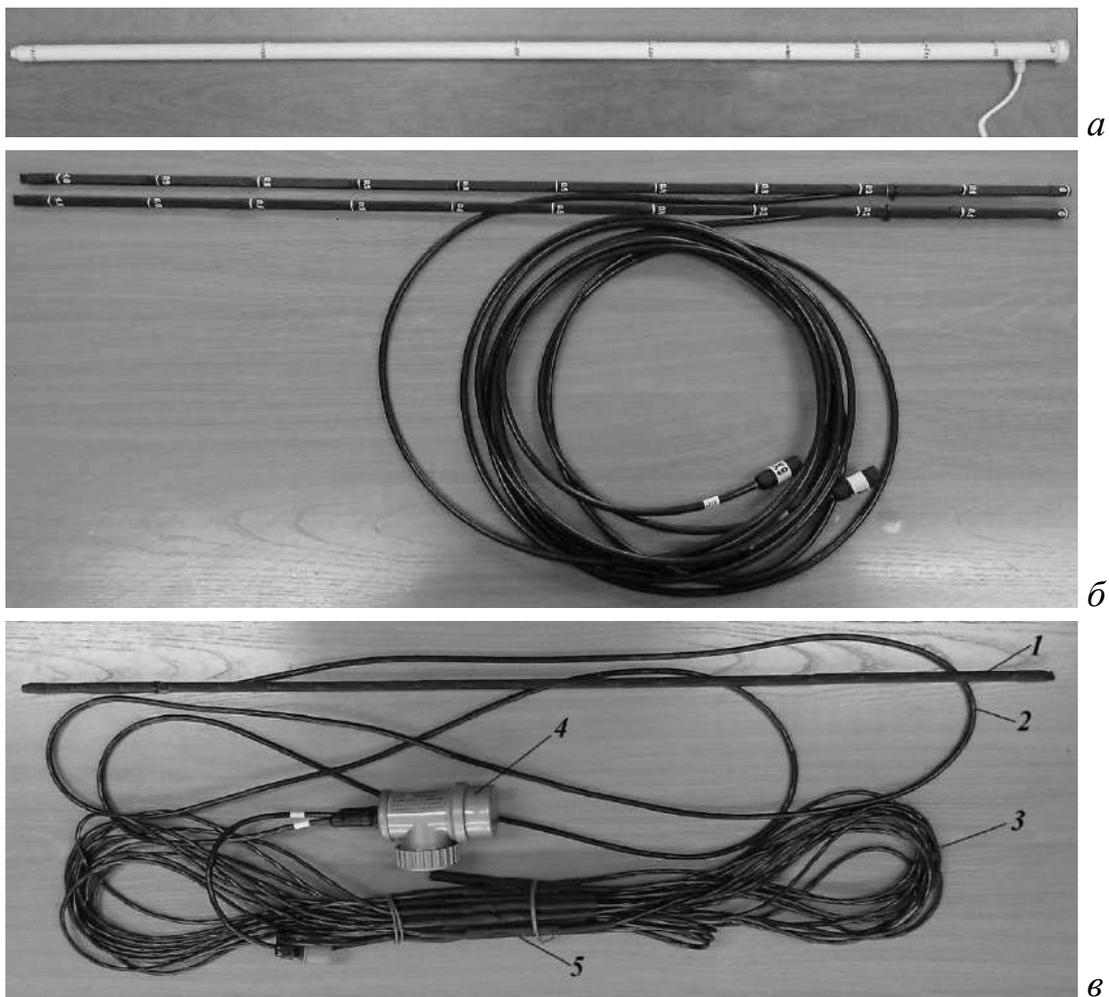


Рисунок 2.11 – Многодатчиковые температурные зонды: *а)* в пластиковой трубе; *б)* на трехпроводной печатной плате (два зонда с соединительными кабелями); *в)* многодатчиковый зонд и термокоса, подключенные к контроллеру: 1 – температурный зонд; 2 – соединительный кабель между зондом и контроллером; 3 – соединительные кабели между сегментами термокосы; 4 – контроллер-регистратор; 5 – сложенные сегменты термокосы

Тройки проводов от каждого датчика соединяются параллельно в верхней части зонда и подключаются к кабельному выводу, который располагается на расстоянии $10 \div 20$ см от нулевого уровня [40]. Это делается для уменьшения влияния температуры воздуха на зонд по соединительному кабелю. Дополнительно выходная часть соединительного кабеля длиной около 1 м для уменьшения теплопередачи на зонд укладывается на поверхности почвы и затем подключается к контроллеру-регистратору. При этом с целью экономии количества датчиков их распределение по длине зонда неравномерное (более частое в приповерхностном слое). Места размещения датчиков вдоль зонда отмечены метками (см. рисунок 2.11*а*).

Наиболее широко в различных комплексах для мониторинга окружающей среды была использована конструкция зонда с размещением датчиков на спаянных отрезках трехпроводных печатных плат размерами $9,5 \times 8 \times 400$ мм, которая была описана в п. 2.3 (длина платы 400 мм обусловлена технологией ее изготовления). Для герметизации зонд покрыт термоусадочной трубкой. Такая конструкция имеет меньшую паразитную теплопередачу вдоль зонда, возможность установки большого количества датчиков, включая датчик поверхности почвы, и простоту изготовления. Показанные на рисунке 2.11б зонды длиной 1 м состоят из отрезков трехпроводных печатных плат, на которых температурные датчики размещены равномерно по длине зонда (через 10 см), места размещения датчиков по длине зонда отмечены белыми кольцами. Такой зонд обеспечивает фиксированное расположение точек измерения в течении длительного времени, тогда как установленные одиночные датчики могут «мигрировать» в результате пучения и других процессов в грунте. Следует отметить, что для уменьшения воздействия на зонд температуры воздушной среды, по которой проходит соединительный кабель, его вывод из зонда делается на глубине около 10 см от термодатчика, размещаемого на поверхности почвы (см. рисунок 2.11).

На рисунке 2.11в показан внешний вид термозонда и термокосы, которые подключены к контроллеру-регистратору. Термокоса обычно представляет собой отрезки кабеля (поз. 3) длиной до сотни метров, припаянные к печатным платам размерами $3 \times 9 \times 100$ мм, с расположенными на них температурными датчиками и герметизированные термоусадочными трубками. Эти элементы термокосы образуют ее сегменты (поз. 5).

В ходе разработки оптимальной конструкции зонда проводились испытания с установкой одновременно в шурф одиночных температурных датчиков, располагаемых на одинаковых с датчиками пластикового зонда уровнях относительно поверхности грунта (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Сравнительные измерения температуры почвы зондом из пластиковой трубы и одиночными датчиками: 1 – термозонд в пластиковой оболочке; 2 – контроллер-регистратор; 3 – соединительный кабель, идущий от одиночного зонда; 4 – соединительные кабели

Одиночные датчики располагались на расстояниях не более 5 см от зонда. Все датчики подключались к контроллеру-регистратору. Для уменьшения влияния на одиночный датчик теплопереноса по соединительному кабелю, кабель при выводе из грунта располагался вдоль его поверхности на длине около 1 м. Это позволяло считать результаты измерений такого датчика в качестве эталонного.

По результатам проведенных исследований были выявлены следующие основные источники ошибок:

- в отличие от насыщенного водой болота, в сухой почве теплопроводность вдоль зонда приводит к существенной ошибке измерения, уменьшающейся с глубиной и предельно малой ниже глубины 1 метра;
- главная причина ошибок – это суточный температурный ход, особенно из-за прогрева поверхности почвы солнечным излучением, а также из-за разницы теплопроводности проводников зонда и грунта, и соответственно скорости распространения тепловой волны; ошибка измерения на глубине до 5 см от поверхности может достигать единиц градусов;
- наибольшую ошибку в дневное время вносит нагрев выступающих на поверхность частей зонда.

Анализ выявленных ошибок измерений позволил предложить следующие меры по их минимизации:

- необходимо уменьшить теплопроводность зонда;
- из конструкции следует удалить все выступающие на поверхность грунта части зонда;
- для измерения температуры поверхности почвы использовать только одиночный датчик.

Суммарная погрешность измерения температуры грунта с помощью контактных датчиков складывается из погрешностей:

- определяемых тепловой инерцией датчика;
- связанных с солнечным радиационным нагревом датчика;
- тепловым контактом с измеряемой средой и паразитными теплоперетоками, определяемыми конструкцией зонда;
- саморазогревом датчика.

В ходе экспериментов выяснилось, что для минимизации эффекта саморазогрева датчика DS18B20, его опрос должен производиться не чаще одного раза за 30 секунд в воде и 60 секунд в воздухе.

Типичные примеры вариаций вертикального профиля температуры почвы для различных сезонов года показаны на рисунке 2.13. При измерениях использовался зонд, имеющий датчики на уровнях 0; 2; 5; 10; 15; 20, 25; 30, 35; 40; 45; 50; 55; 60; 80; 100; 120; 160; 240; 320 и 500 см от поверхности почвы.

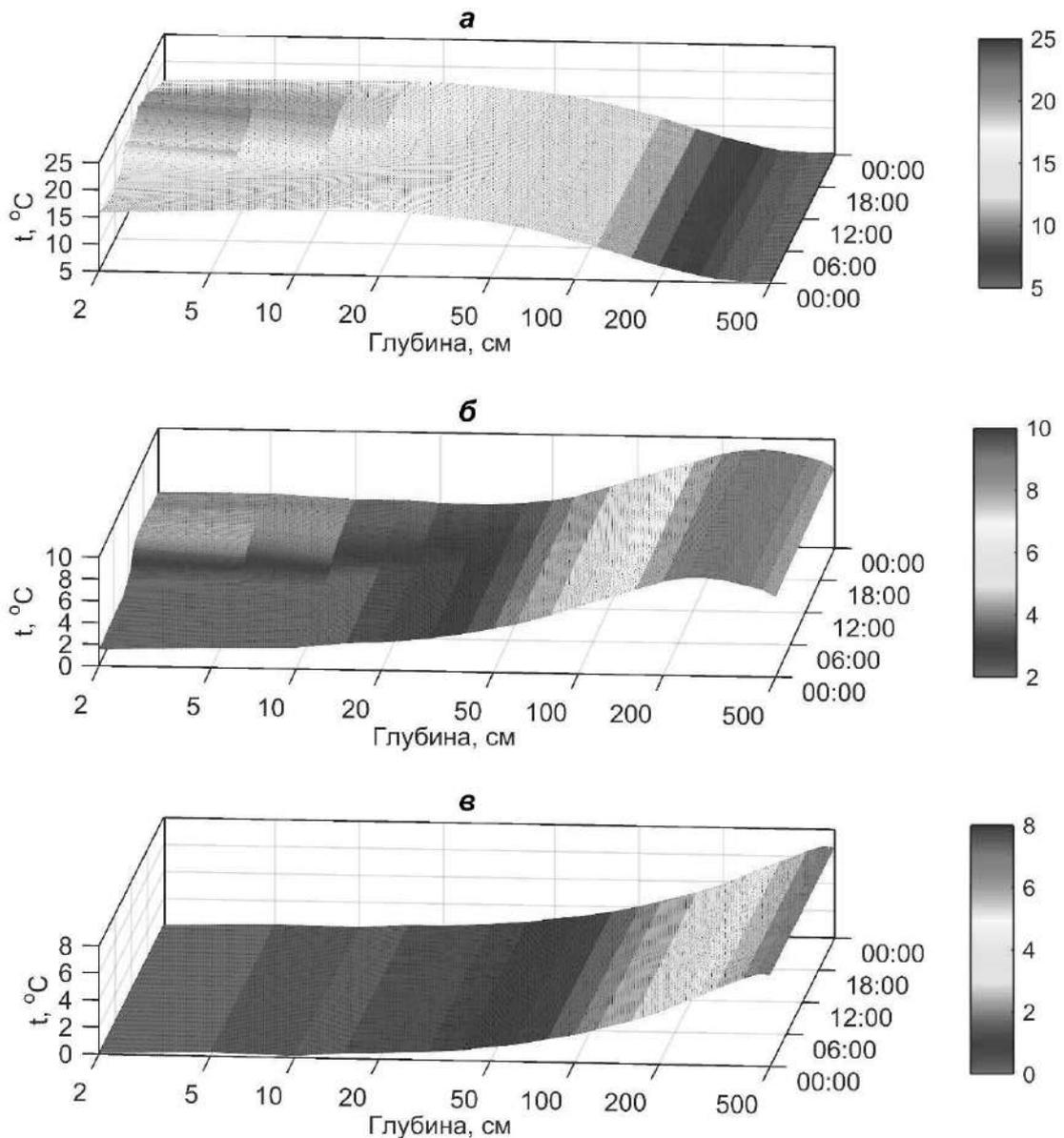


Рисунок 2.13 – Результаты натуральных измерений профиля температуры в почве:
 а) данные за 01.07.2019 г.; б) за 01.11.2019 г.; в) за 01.02.2020 г.; глубина от поверхности земли показана в логарифмическом масштабе

Измерения проводились на метеоплощадке ИМКЭС СО РАН. Рисунок 2.13а показывает, что в летний период (июль), в дневное время, прогрев почвы начинается после 9:00 и наибольшая температура на поверхности достигается около 15:00. При этом температурная инерционность в приповерхностном слое почвы (до глубины ~40 см) сохраняется даже в ночное время. На глубине более 40 см суточный ход температуры воздуха не влияет на температуру почвы.

Для поздней осени (начало ноября без снега, рисунок 2.13б) суточный ход температуры воздуха начинает влиять на температуру почвы в слое до 10 см после 13:00. В зимнее время (февраль, рисунок 2.13в), находящаяся под снегом почва не меняет своей температуры.

При измерении температурных профилей в каменистых и мерзлотных грунтах Бурятии и республики Алтай возникали сложности, связанные с установкой датчиков и температурных зондов. Обычно, для установки почвенных датчиков используют термометрические скважины диаметром 70...90 мм, пробуренные колонковым способом без промывки на малых оборотах бурового инструмента.

Использование колонковых перфораторов, кроме подающего устройства, требует привлечения в труднодоступные районы, где необходимо осуществить мониторинг почвы дополнительное оборудование (источник сжатого воздуха, распорные колонки, или стойки). Требуется участие, специально обученных работников на этих перфораторах специалистов, которые имеют допуск для работы на них. Использование колонкового перфоратора для осуществления мониторинга за параметрами почвы из-за его низкой мобильности, высокой стоимости и необходимости привлечения, специально обученных специалистов, имеющих допуск к работе, не целесообразно, а в некоторых местах проведения исследований, невозможно.

Для решения этой проблемы автором предложен способ установки датчиков в грунт, защищенный патентом [41]. Для бурения используется мощный строительный перфоратор и набор унифицированных строительных буров и удлинителей. По мере прохождения бура в скважину, его наращивают при помощи стандартных удлинителей и разъемных муфт. Сухой шлам, образующийся при бурении, периодически удаляют промышленным пылесосом, который снабжен жестким резиновым шлангом. Каждую порцию шлама складывают отдельно друг от друга и используют его, после установки в скважину датчиков, для засыпки скважины с учетом глубины залегания шлама.

2.7 Метрологическое обеспечение датчиков температуры

Метрологическое обеспечение является неотъемлемой частью процесса создания нового оборудования. Оказалось, что для получения удобного, высокоточного и малостоимостного датчика температуры, необходимо довольно дорогое измерительное и стендовое оборудование, для их отбора и калибровки, а также их периодической поверки, чтобы быть уверенным в отсутствии временных дрейфов. Датчик DS18B20, являющимся основным используемым датчиком температуры в разработанных автором температурных зондах. Заводская точность данного датчика калибровкой повышается с ± 2 °C до $\pm 0,1$ °C [42]. В состав стенда для калибровки входит следующее оборудование (рисунок 2.14а):

- ТЕРМОТЕСТ-05-02 – криостат для калибровки термометров и датчиков температуры. Нестабильность и неоднородность в пределах $\pm 0,02$ °C. Диапазон регулирования температуры (минус $80 \div +5$) °C;
- ТЕРМОТЕСТ-100 – термостат для калибровки термометров и датчиков температуры. Нестабильность и неоднородность в пределах $\pm 0,01$ °C. Диапазон регулирования температуры (плюс $4 \div 100$) °C;
- ТЕРКОН – прецизионный измеритель термометров сопротивления и термопар. Точность преобразования $\pm 0,011$ °C;
- эталонный термометр сопротивления ЭТС-100.

Жидкостные термостаты обеспечивают точность калибровки до $\pm 0,02$ °C. Для диапазона (минус $60 \div +5$) °C применяется этиловый спирт, а для $+5 \div +80$ °C – дистиллированная вода.

Для датчика DS18B20 в диапазоне от минус 60 до $+70$ °C через 5 °C была снята зависимость показаний датчиков от температуры. Выяснилось, что зависимость близка к линейной и аппроксимация полиномом второй степени повышает точность до $\pm 0,1$ °C в диапазоне минус 55 °C $\div +65$ °C.

Порядок калибровки был следующий:

- 96 датчиков устанавливаются в 2-х разъёмах DIN 3X32 96F (рис. 2.14б), подключённых к нашему типовому контроллеру АИПТ, герметизируются с

помощью резиновых насадок для УЗИ, зажимаются кабельными вводами и притягиваются резинкой к эталонному термометру сопротивления ЭТС-100 и погружаются в жидкость термостата;



а



б

Рисунок 2.14 – Стенд для калибровки температурных датчиков:
а) общий вид; б) способ крепления датчиков.

- задаётся на термостате точка калибровки, после выхода датчиков на заданную температуру и дополнительной выдержки, снимаются и записываются в файл не менее 50 показаний с калибруемых датчиков и эталонного измерителя. Для устранения саморазогрева датчиков период измерения задаётся равным 1 минуте;
- после прохождения всех точек калибровки: -54 , -18 , 0 , 18 , 55 °С, с помощью собственной программы производится расчёт коэффициентов полинома. Сначала производится расчёт по 3-м основным температурным точкам -54 , 0 , 55 °С, используя усреднённые по 50-ти точкам значения, затем проверяется соответствие требуемой точности расчётных значений с точками не используемых для вычисления полинома: -18 , 18 °С, одновременно производится поиск и удаление случайных выбросов.

Типичные результаты калибровки температурных датчиков иллюстрируются рисунком 2.15.

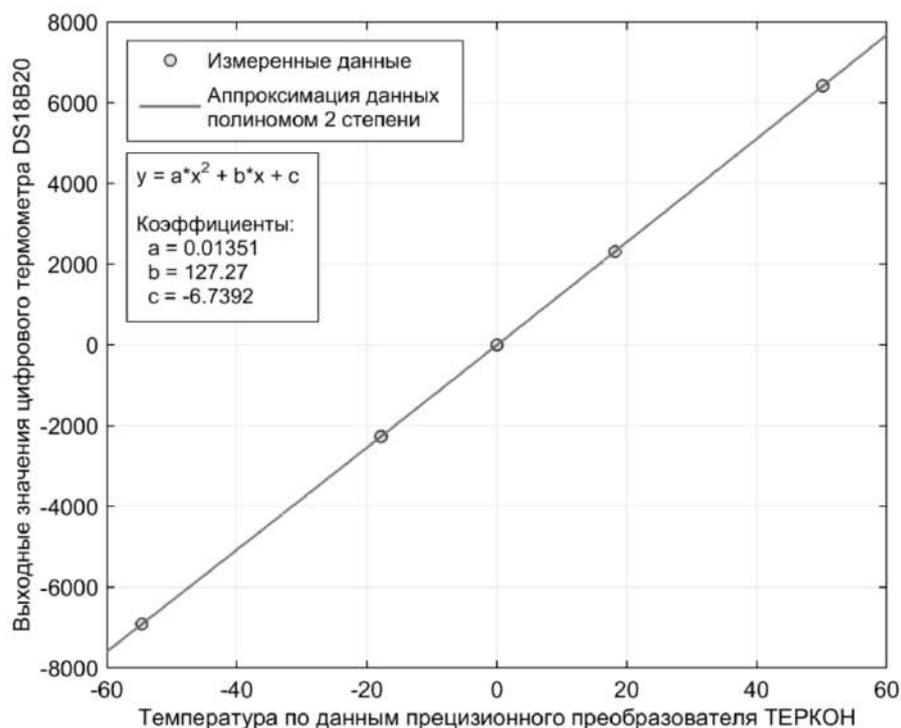


Рисунок 2.15 – Результаты калибровки датчиков DS18B20

В таблице 2.2 приведены характеристики калиброванных температурных датчиков DS18B20 и требований ВМО по измерению температуры [3].

Таблица 2.2 – Сравнение требований ВМО к характеристикам приборов для измерения температуры почвы и характеристик калиброванных датчиков DS18B20

Измеряемая величина	Параметр	Требования ВМО	Калиброванный DS18B20
Температура грунта	Диапазон, °C	от -50 до +50	от -55 до +65
	Разрешение, К	0,1	0,0625
	Требуемая точность, °C	±0,1	±0,1

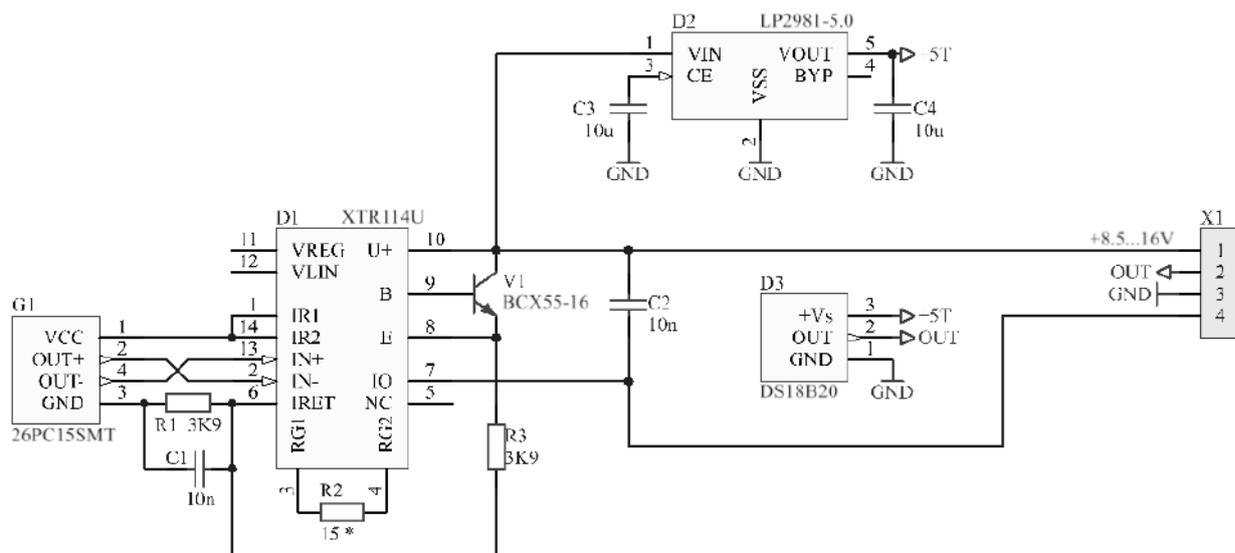
Температурные зонды, изображенные на рисунке 2.11б, были использованы при выполнении НИОКР по теме “Разработка беспилотного летательного измерительного комплекса (БЛИК) метеорологической, экологической и геологической разведки” по договору (соглашению) №128ГРНТИС5/26038 между ООО «Сибаналитприбор» и ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» в составе Комбинированного метеорологического комплекса [43], а также в составе экспериментальной

автономной метеостанции АрктикМетео при выполнении ИМКЭС СОРАН проекта в рамках ФЦП ИР по Соглашению № 14.607.21.0205 (уникальный идентификатор проекта RFMEFI60718X0205) [44]. При этом были проведены испытания зондов в климатических камерах, которые подтвердили достижение заданных диапазонов и погрешностей измерения профилей температуры почвы, указанные в таблице 2.2.

2.8 Контроль уровня воды

Уровень воды является одной из самых важных характеристик рек и водоёмов. В датчике измерения уровня воды (рисунок 2.16) используется дифференциальный датчик давления, заливаемый клеем в металлической трубке с полым соединительным кабелем для автоматической компенсации атмосферного давления [45]. Отличие от аналогов состоит в технических решениях, позволивших использовать для сборки датчика, готовые, унифицированные компоненты (кроме печатной платы). Кроме того, на момент решения задач по исследованию водного баланса Васюганского болота, было проще изготовить свой датчик, чем согласовывать покупку «чужого» с необходимой длиной кабеля и на требуемый измерительный диапазон.

Принцип действия датчика уровня воды заключается в измерении сопротивлений тензорезистивного моста, установленного на мембране, входящей в состав датчика уровня воды и расположенной в бронзовой гильзе 1. На мембрану с одной стороны оказывает давление столб воды совместно с атмосферным давлением, а с другой стороны атмосферное давление через пустотелый кабель 4, сообщающийся с атмосферой через тройник 3 и трубку 5. Таким образом, изменения атмосферного давления не влияют на измерения уровня воды. Измеренные значения передаются в регистратор через токовый интерфейс (4...20 мА) через разъем 4.



а



б

Рисунок 2.16 – Датчик уровня воды: а – электрическая схема: G1 – дифференциальный датчик; D1 – дифференциальный усилитель; D2 – стабилизатор; D3 – датчик температуры; X1 – разъем; б – внешний вид: 1 – датчик; 2 – разъем; 3 – воздушный тройник; 4 – полый соединительный кабель; 5 – трубка

В таблице 2.3 приведены характеристики датчика уровня воды.

Таблица 2.3 – Основные характеристики датчика уровня воды

Характеристика	Значение
Максимальное измеряемое значение уровня воды, м	10,5 м
Точность измерения уровня воды, %	$\pm 0,5$ %
Диапазон измерения температуры воды, °C	-5...+60
Точность измерения температуры воды, °C	$\pm 0,1$
Максимально допустимая длина кабеля, м	165
Габаритные размеры датчика без кабеля, мм:	
диаметр	31
длина	90

Для изготовления датчиков на требуемые рабочие диапазоны используются дифференциальные датчики G1 (рисунок 2.16а) с разной чувствительностью (26PC01SMT, 26PC05SMT и 26PC15SMT) [46], у которых на один штуцер через фильтр подается внешнее давление водяного столба, а другой соединяется с пустотелым кабелем 4. Точное задание максимальной рабочей глубины производится регулировкой усиления (R2) дифференциального усилителя с токовым выходом (D1) XTR114U [47]. Встроенный датчик температуры (D3) DS18B20 служит для измерения температуры воды и программной компенсации температурной зависимости датчика давления.

Калибровка проводится на специально изготовленном стенде, состоящем из вертикально расположенной трубы, нижний конец которой опущен в жидкостной термостат, и через штуцер и шланг подключён к двум кранам. Первый кран соединён с водяным насосом с гидроаккумулятором, второй – с ёмкостью для слива воды. Для калибровки, датчик через верхний конец трубы опускается до крайне нижнего положения, задаётся требуемый уровень в трубе, подачей воды открыванием крана от гидроаккумулятора или сливом, контроль производится с помощью прозрачной трубки, соединённой с основной трубой в нижней точке, и расположенной под ней измерительной лентой, закреплённой по всей длине трубы.

Так как зависимость выходного сигнала от уровня воды близка к линейной, коэффициенты полинома аппроксимирующей функции рассчитываются по 3 или 4 точкам. Температурная зависимость описывается более сложной функцией,

зависящей от типа используемого датчика, и снимается по 4...5 температурным точкам.

Для проведения измерений датчик, как правило, закрепляется в пластиковой перфорированной обсадной трубе, жёстко фиксируемой относительно земли. На рисунке 2.17 приведены результаты измерений с помощью созданного датчика уровня воды в реке Обь на научно-исследовательском стационаре ТГУ «Кайбасово» (Кривошеинский район Томской области), когда за неделю уровень воды поднялся почти на 6 м.

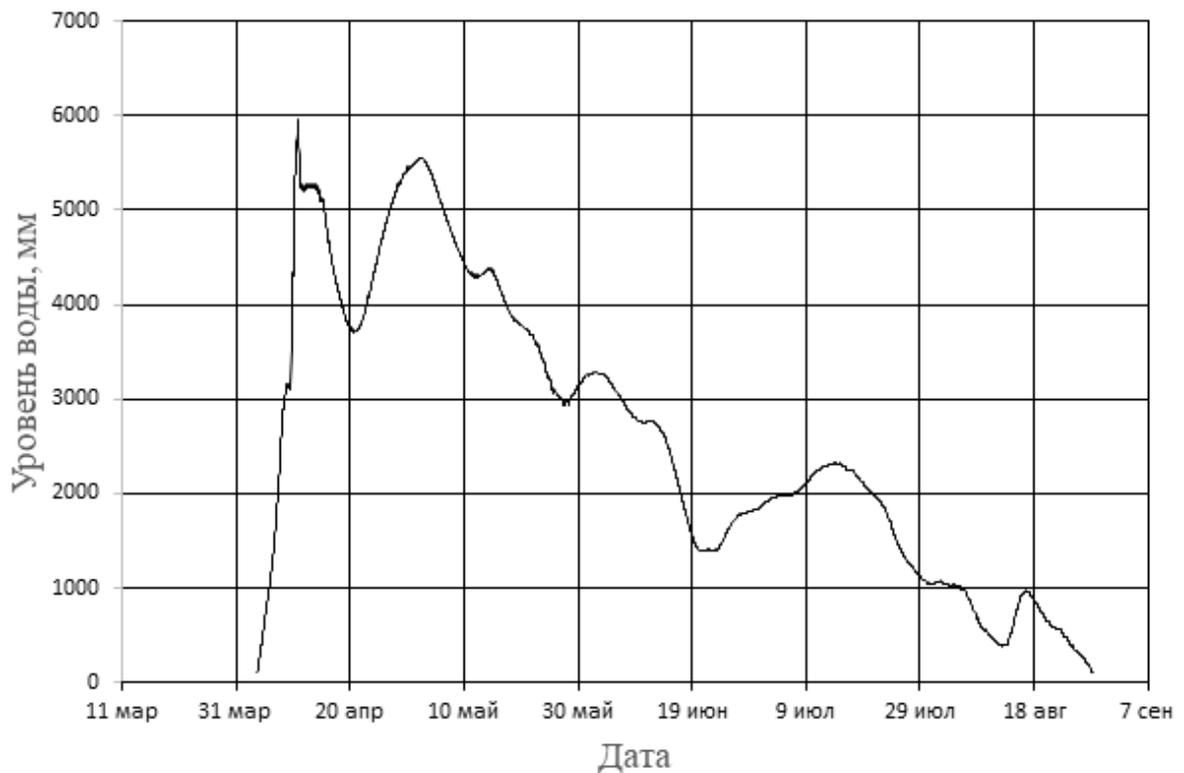


Рисунок 2.17 – Результаты измерения уровня воды с 03.04.2016 по 28.08.2016 на реке Обь на научно-исследовательском стационаре ТГУ «Кайбасово».

С помощью разработанного датчика уровня воды выполнен также цикл измерений по исследованию динамики весеннего подъема уровня бессточного Красиловского озера Алтайского края [48,75-80].

2.9 Контроль потока солнечной радиации

Радиационный баланс является определяющим фактором теплообмена и состояния пограничного слоя атмосферы. Проведение автоматических и автономных измерений радиационного баланса потребовало, в основном по экономическим причинам, разработки блока измерения солнечной радиации (БИСР) или 2-х канального пиранометра, на который была разработана эскизная конструкторская документация. По этой документации был изготовлен экспериментальный образец БИСР, который является составной частью экспериментальной автоматической станции АрктикМетео [49].

БИСР, функциональная схема которого приведена на рисунке 2.18, имеет два измерительных модуля, ориентированных на 180° относительно друг друга, что позволяет отдельно измерять падающий и отражённый световые потоки.

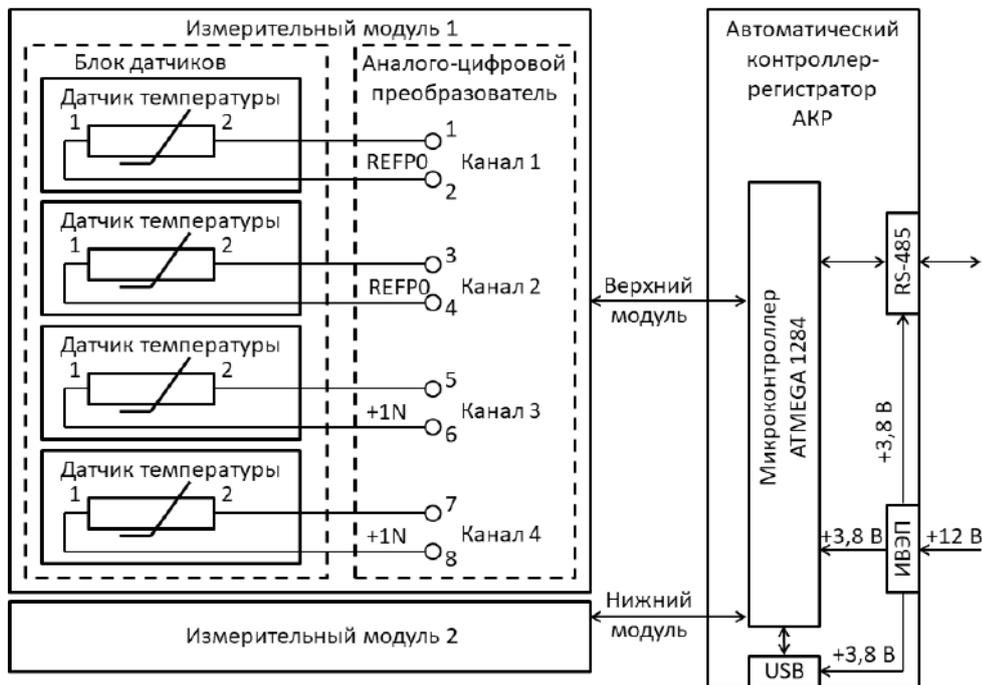


Рисунок 2.18 – Функциональная схема БИСР

Измерительные модули имеют идентичные электрические схемы с четырьмя датчиками температуры (терморезисторами) каждый, и автоматический контроллер-регистратор (АКР). АКР преобразует информацию, поступающую с терморезисторов и пропорциональную падающей на них радиации, в

информационные пакеты, которые передаются в систему сбора данных по каналу кабельной связи. На рисунке 2.19 показан внешний вид измерительного модуля.

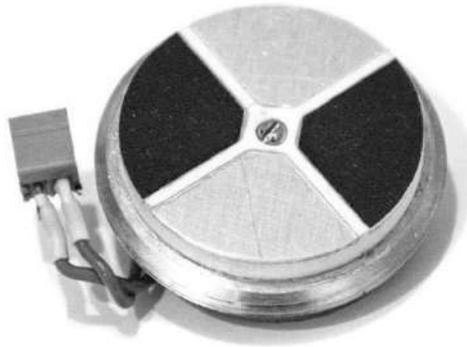


Рисунок 2.19 – Внешний вид измерительного модуля

Измерительный модуль имеет два черных и два белых алюминиевых сектора. Поток солнечной радиации неодинаково нагревает их и прикрепленные к ним с задней стороны платиновые резисторы, далее, по разнице температуры, после калибровки, рассчитывается плотность потока солнечной радиации. Как и в датчике уровня воды используется микросхема дифференциального усилителя ХТR114U, формирующая выходной токовый интерфейс 4...20 мА.

На рисунке 2.20 показана конструкция БИСП. Верхняя полусфера блока принимает и регистрирует суммарную приходящую прямую и рассеянную солнечную радиацию, нижняя часть блока – отраженную от поверхности земли радиацию. Потоки излучения проходят через фторопластовые защитно-рассеивающие фильтры (поз. 9 и 10) и попадают на верхний и нижний измерительные модули (поз. 3(A1) и 3(A2)). Измерительные блоки расположены в сравнительно массивном металлическом корпусе (поз. 6), предназначенном для уменьшения влияния солнечного нагрева.

Благодаря защитно-рассеивающим фильтрам из фторопласта, имеющим полосу пропускания 0,35...7 мкм, удастся измерять почти всю суммарную солнечную приходящую и отражённую радиацию, а также излучение земной поверхности.

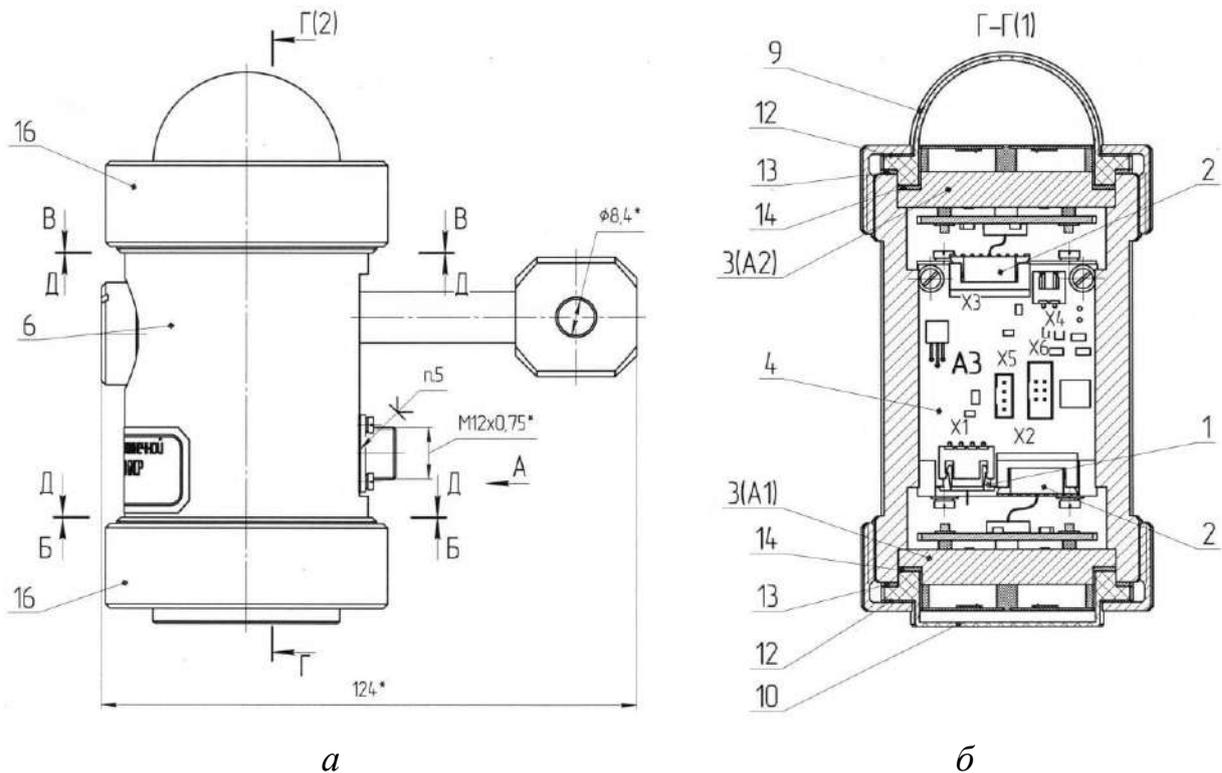


Рисунок 2.20 – Конструкция БИСП: а) внешний вид с элементами крепления на мачте; б) размещение электрорадиоэлементов внутри конструкции

Калибровка БИСП проводилась на оптической скамье с использованием эталонного пиранометра М-80М, кроме этого проводились сравнительные натурные испытания с пиранометром СМ11. На рисунке 2.21 приведены графики измерений БИСП и СМ 11 с 19.06.2015 по 22.06.2015, а на рисунке 2.22 – результаты расчёта коэффициента корреляции ($R = 0,9981$). Для анализа было взято количество точек (N) равное 4065.

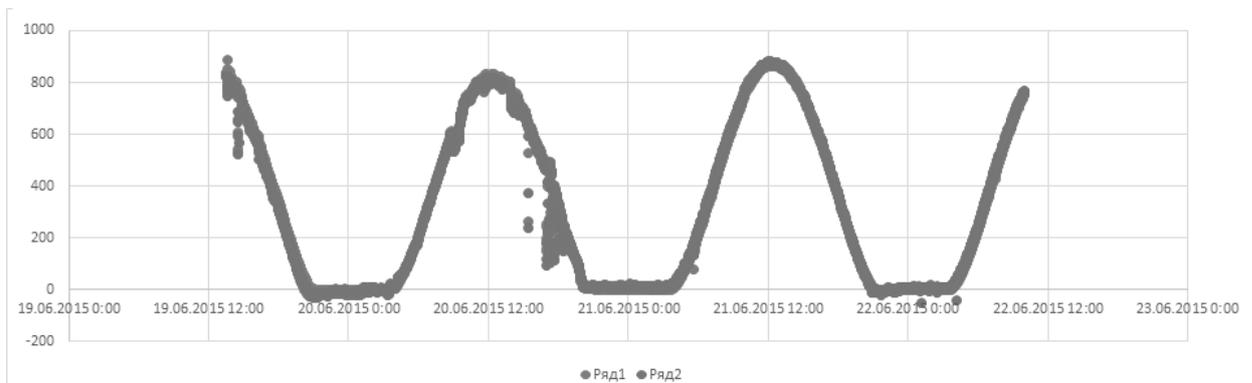


Рисунок 2.21 – Сравнение результатов измерения радиации БИСП и СМ 11. По оси ординат указана суммарная солнечная радиация ($Вт/м^2$). Сплошная бордовая линия – данные СМ 11, синий цвет – данные БИСП

Провалы на зависимостях регистрируемой радиации обоими приборами в

дневное время 19 и 20 июня обусловлены появлению облачности.

Калибровочная зависимость на рисунке 2.22 близка к линейной и аппроксимируется полиномом 2-ой степени $y = A + Bx + Cx^2$.

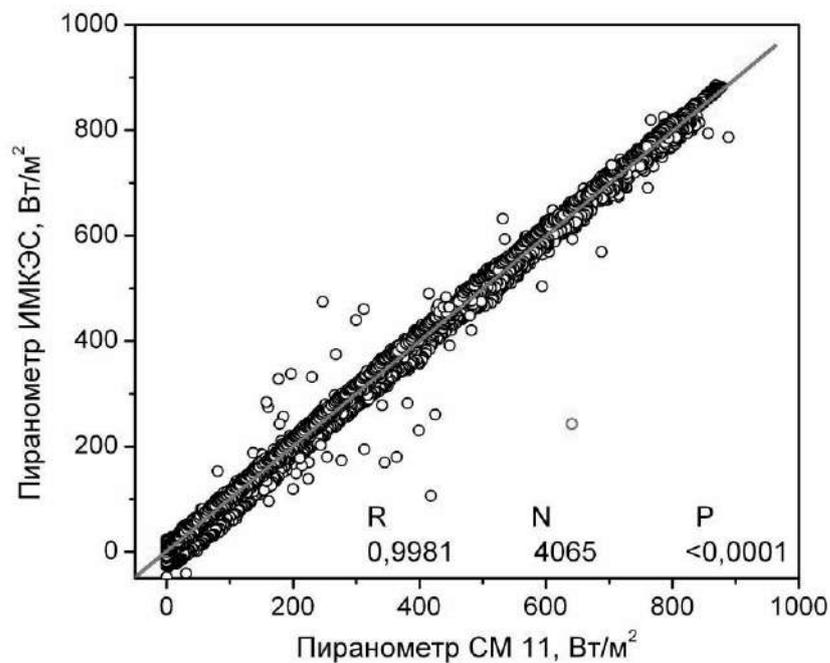


Рисунок 2.22 – Расчёт значимости корреляции данных БИСР и СМ 11

В таблице 2.4 приведены характеристики БИСР.

Таблица 2.4 – Основные характеристики БИСР

Характеристика	Значение
Диапазон измерения, Вт/м ²	от 0 до 2000
Спектральный диапазон, мкм	от 0,35 до 7
Диапазон рабочих температур, °С	От -55...+60
Точность, %	±10
Постоянная времени, с	60

2.10 Выводы по главе 2

1) По результатам выполненного анализа современного состояния способов и технических средств мониторинга окружающей среды и их составных частей сформулированы требования к датчикам для автономного мониторинга снежных и ледовых покровов, почв и грунтов.

2) В качестве основного элемента для автоматизированного контроля температуры выбран датчик DS18B20, в котором полупроводниковый датчик температуры совмещен с контроллером, обеспечивающим высокую точность преобразования аналогового сигнала датчика в цифровой код, и который выполняет интерфейсные функции. Этот датчик в дальнейшем использован во всех созданных автором приборах и измерителях.

3) Предложен датчик для контроля высоты снежного покрова [37], основанный на анализе вертикального профиля температуры в воздухе и снежном покрове. Созданный датчик в количестве более 50 шт. установлен на ряде наблюдательных постов и метеостанций в качестве средства контроля.

4) Разработана и изготовлена конструкция одноразового датчика контроля высоты снежного покрова, применяемого для оценки лавинной опасности [38]. Предложена методика использования такого датчика для оценки снегозапаса и степени лавинной опасности на горных склонах.

5) Разработана конструкция автоматического регистратора таяния ледников Куракова [39] на основе термокосы, в которой датчики температуры расположены на равном расстоянии друг от друга и которые последовательно соединены между собой гибким кабелем. Конструкция дает возможность определения положения верхней границы ледяного покрова, обеспечивает установку термокосы вертикально с упором в дно скважины, снижение механических нагрузок на измерительный элемент (термокосу) за счет ее автоматического складывания. Изготовленные образцы термокос использованы в ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» для городского мониторинга для мерзлоты в Салехарде и других регионах ЯНАО. Всего изготовлено более 40 шт. термокос, акты об

использовании которых представлены в приложении к диссертации.

6) Создан комплект термозондов различного конструктивного исполнения, предназначенных для непрерывного контроля вертикального профиля температуры в почве и грунтах до глубины 500 см с различным пространственным разрешением (минимальное разрешение 5 мм). Обосновано техническое решение по выводу информации из термозонда и передаче ее в контроллер для уменьшения теплопередачи по соединительному кабелю [40]. Конструкции температурных зондов на основе пластиковой трубы и печатных плат в количестве более 150 шт. применяются для контроля температурных профилей болот, почвы и мерзлотных грунтов в различных регионах страны. Для установки термозондов в мерзлотные и каменистые грунты предложен способ эффективного бурения шурфов [41].

7) Отработана методика индивидуальной калибровки датчиков DS18B20, которые являются основным элементом контроля в разработанных автором датчиках. Экспериментальные образцы термозондов, использующие датчики, размещенные на трехпроводной печатной плате и герметизированные термоусадочной трубкой успешно прошли испытания в климатической камере в диапазоне температур от минус 55 до +50 °С, с погрешностью измерения $\pm 0,1$ °С по всему указанному диапазону [43, 44].

8) Разработан и изготовлен датчик уровня воды, который обеспечивает оперативный контроль изменений уровня в широком диапазоне высот, характерном для развития паводков и половодий. Датчик использован для контроля уровня воды в р. Обь, а также для исследования динамики весеннего подъема уровня бессточного Красиловского озера Алтайского края [48].

9) Разработан и изготовлен экспериментальный образец блока контроля потока падающей и отраженной солнечной радиации, который имеет два измерительных модуля, ориентированных на 180° относительно друг друга. Измерительный модуль имеет два зачернённых и два блестящих алюминиевых сектора, температура которых измеряется четырьмя терморезисторами [49].

10) На основании изложенного сформулированы защищаемые положения:

I. Разработанная измерительная рейка, представляющая собой протяжённую трёхпроводную печатную плату с установленными на ней малогабаритными цифровыми датчиками температуры, обеспечивает контроль высоты снежного покрова по температурному градиенту на границе снега и воздуха с разрешающей способностью, определяемой расстоянием между датчиками и габаритным размером датчика (при использовании датчика DS18B20 разрешающая способность составляет 5 мм), а малое сечение рейки (11 мм) снижает паразитную теплопередачу и уменьшает влияние измерительной рейки на естественный снежный покров.

II. Автоматический регистратор таяния ледников, представляющий собой контроллер-регистратор и термокосу с малым сечением (1,1 см), устанавливаемую с упором в дно пробурённой в леднике скважины, позволяет с заданным временным периодом осуществлять контроль профиля температуры и по отличию от температуры вне скважины вычислять верхнюю границу ледника с разрешающей способностью, определяемой расстоянием между цифровыми датчиками температуры, которые установлены на жестких сегментах (длиной 40 см), соединённых между собой гибким кабелем, обеспечивающим, при таянии ледника, автоматическое складывание термокосы, а дополнительное наличие в контроллере солнечной батареи, радиомодема, GPS-приемника позволяет оперативно передавать информацию о профиле температуры и перемещении ледника.

Представленные в главе 2 результаты приведены в 4-х публикациях [45, 48, 50, 99], 5 патентах [37–41], в 21 материалах докладов [42, 51, 52, 75-80, 85, 90, 91, 94, 95, 98, 102, 105, 108, 109, 111, 112] и 4-х научно-технических отчетах [43, 44, 49, 114].

3 Беспилотный регистратор пространственного распределения полей метеорологических величин в пограничном слое атмосферы

В ряде задач метеорологического и экологического мониторинга важное значение имеют оперативных оценки потоков тепла и влаги, определяющие энерго-массо-перенос в наиболее динамичном, атмосферном пограничном слое (АПС). В данной главе рассмотрены принципы построения на базе беспилотного летательного аппарата (БПЛА) портативной электронной метеостанции (ПЭМС), способной регистрировать пространственное распределение полей основных метеовеличин: температуры, влажности воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра (их высотные профили), а также горизонтальное распределении полей этих метеовеличин на различных высотных уровнях.

3.1 Методы и технические средства получения информации о пространственном распределении полей метеовеличин в пограничном слое атмосферы

Технологии современных БПЛА и их электроники, дают возможность проводить контактные мониторинг метеовеличин во всем диапазоне высот АПС (от 10 до 2000 м) с высоким временным и пространственным разрешением. Наилучшими для этой задачи являются БПЛА мультикоптерного типа. Мультикоптер может строго следовать по заданному маршруту, зависать в заданных местах, лететь строго по вертикали с устанавливаемой скоростью. В отличие от радиозондов, многоразовость использования такого БПЛА уменьшает расходы на эксплуатацию и позволяет принципиально увеличить частоту запусков, а управляемость делает возможным изменить программу полёта или прекратить полёт в зависимости от обстоятельств. Таким образом, БПЛА должен представлять из себя портативную электронную метеостанцию, способную регистрировать высотные профили распределения температуры, влажности воздуха, атмосферного давления, скорости и направления ветра.

3.2 Способы определения усредненных значений скорости и направления ветра с использованием аэродинамических характеристик БПЛА

Как отмечалось выше, скорость и направление ветра в атмосфере являются одними из главных метеовеличин. На текущий момент основным способом определения параметров ветра в атмосфере является слежение за траекторией движения под действием ветра радиозонда, имеющего систему спутниковой навигации. Для метеостанций, находящихся на БПЛА, проблема определения параметров ветра в АПС является одной из наиболее сложных в силу генерации потоков воздуха, создаваемых самим летательным аппаратом. Ниже представлены методические и технические решения проблемы по измерению скорости и направления ветра в АПС, на основе использования аэродинамических характеристик БПЛА, разработанные автором [53–56].

3.2.1 Способ определения скорости и направления ветра на заданной высоте путем отслеживания траектории БПЛА под действием ветра

Вместо радиозонда для отслеживания траектории его движения под действием ветра, используется БПЛА вертолётного типа – коптер [57], снабженный системой спутниковой навигации, электронными гироскопом и магнитным компасом, а также радиопередатчиком, и который способен возвращаться в заданную точку. Для этого запускают БПЛА в заранее выбранную точку АПС с заданными географическими координатами и на нужную высоту, затем переводят БПЛА в режим удержания высоты, горизонтального положения, т.е. переводят суммарный вектор тяги БПЛА в вертикальное направление относительно земной поверхности, включают режим равномерного вращения вокруг вертикальной оси, и через некоторое время, после уравнивания скорости БПЛА относительно ветра, фиксируют с помощью спутниковой навигации широту и долготу первой точки ψ_1 , λ_1 , текущее время T_1 , после этого, через время кратное полному обороту БПЛА

вокруг вертикальной оси, регистрируют координаты и время второй точки ψ_2 , λ_2 , T_2 , полный оборот и направление БПЛА измеряют с помощью электронного магнитного компаса, после чего, измеряемые данные передаются на компьютер, далее, рассчитывается азимут направления ветра α , по расстоянию между первой и второй точками S , скорость ветра V [55]. Для сферической модели Земли можно использовать формулы сферической тригонометрии [58]:

– направление ветра на данной траектории (угол α):

$$\alpha = \arctan \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\ln \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\psi_1}{2} \right) - \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\psi_2}{2} \right)} \right), \quad (3.1)$$

– расстояние между первой и второй точками S , в метрах:

$$s = (6372795 + h) \cdot 2 \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\Delta\varphi}{2} \right) + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right), \quad (3.2)$$

где h – высота начальной точки над уровнем моря в метрах.

Скорость ветра V , м/с:

$$V = \frac{S}{T_2 - T_1} \quad (3.3)$$

Приведенные формулы имеют точность, достаточную для иллюстрации предложенного метода измерения скорости ветра. Для повышения точности расчетов, обратную геодезическую задачу можно решать на эллипсоиде по сферическим треугольникам [59], либо путем интегрирования дифференциальных уравнений геодезической линии [60]. Существует также итерационный метод Винсенты, дающий более точный результат [61]. Можно также воспользоваться стандартизованными методами расчетов, приведенными в ГОСТ Р 32453 и другими [62–64].

После завершения цикла измерения, БПЛА можно вернуть в исходную точку или переместить в новую, либо приземлить для замены аккумуляторных батарей. Данный алгоритм рекомендуется выполнять по программе, автоматически.

Для определения дополнительно вертикальной составляющей скорости ветра [55], БПЛА должен находиться в режиме не удержания высоты, а в режиме «нулевой плавучести», который характеризуется равенством по модулю и

противоположностью по направлению вектора тяги и веса БПЛА, при этом под действием ветра, происходит перемещение аппарата не только по горизонтали, но и по вертикали. Вертикальная составляющая скорости ветра вычисляется делением пути по вертикали на время этого перемещения.

3.2.2 Способ определения усредненного вектора скорости ветра по наклону вектора тяги БПЛА

Для определения профиля усредненного вектора скорости ветра, как на строго вертикальной, так и на заданной произвольной трассе, предлагается использовать для вычисления наклон вектора тяги БПЛА мультироторного типа. В отличие от вышеописанного способа, требующего значительного времени на цикл измерения, способ измерения параметров ветра по наклону вектора тяги БПЛА, позволяет за один проход измерять вектор скорости и направления ветра в вертикальном разрезе атмосферы, расположенном на прямой строго перпендикулярно к горизонту.

Для реализации этого способа [56] БПЛА с заранее известными калибровочными характеристиками влияния ветра на наклон вектора тяги, который, при достижении им заданной высоты с заранее выбранными географическими координатами, переводят в режим удержания географических координат и равномерного движения по вертикали, затем, используя электронные компас и гироскоп, измеряют наклон вектора тяги БПЛА, потребляемую двигателями мощность, атмосферное давление, температуру и влажность воздуха, после чего данные передают на наземную станцию управления для расчета усредненного вектора скорости ветра по заранее известным калибровочным характеристикам.

Режим равномерного вращения вокруг вертикальной оси с измерениями через промежутки времени, кратные полному обороту аппарата вокруг вертикальной оси позволяет компенсировать асимметрию парусности БПЛА в зависимости от направления. Вращение БПЛА также повышает его устойчивость

за счет возникновения момента инерции. На рисунке 3.1 проиллюстрирован режим удержания координат БПЛА под воздействием ветра.

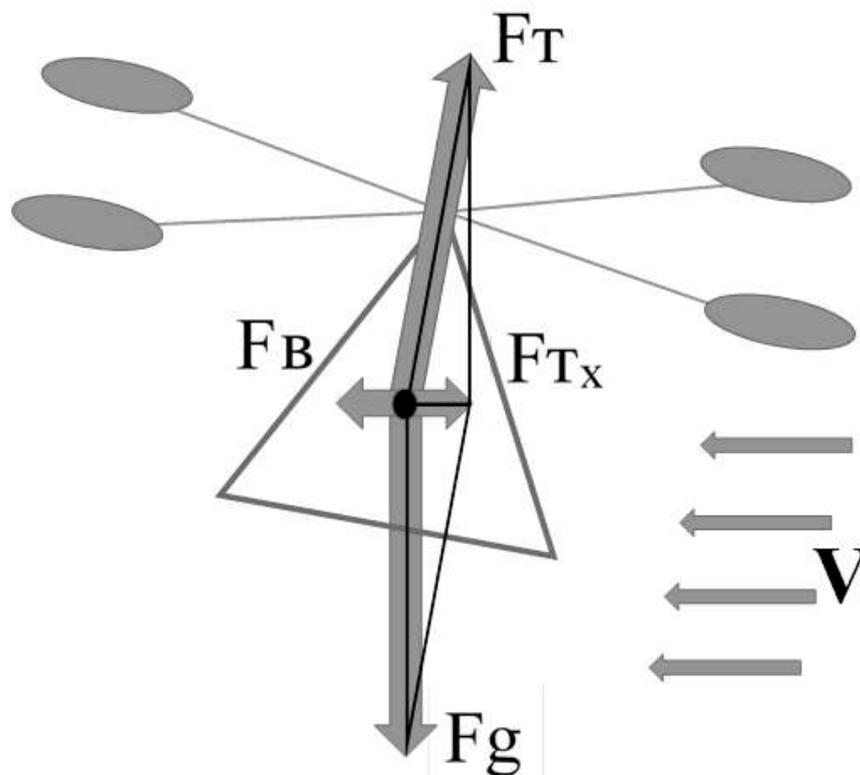


Рисунок 3.1 – Способ определения усредненного вектора скорости ветра

Режим удержания координат характеризуется равновесием горизонтальной (F_{Tx}) проекции тяги (F_T) БПЛА, находящегося в наклонном положении, и силы $F_в$, с которой ветер воздействует на БПЛА. При этом БПЛА может перемещаться по вертикали или находиться на неизменной высоте, в зависимости от соотношения между вертикальной проекцией тяги и весом (F_g) БПЛА.

Наклон вектора тяги БПЛА в описанном выше режиме однозначно соответствует усредненному движению ветра в данной точке пространства при известных значениях атмосферного давления, влажности и температуры, а также суммарной мощности, развиваемой двигателями БПЛА.

Для определения вектора средней скорости ветра необходимо использовать заранее измеренную при калибровке системы зависимость между наклоном БПЛА α , вектором скорости ветра $F_в$, углом поворота корпуса БПЛА ϕ , атмосферным давлением P , влажностью ψ , температурой t и суммарной мощностью W , развиваемой двигателями БПЛА:

$$F_{\text{в}}=f(\alpha, \varphi, P, \psi, t, W) \quad (3.4)$$

Можно перемещать БПЛА по вертикали для непрерывных измерений в вертикальном разрезе атмосферы, либо удерживать БПЛА на месте для точечных измерений.

Данный алгоритм может выполняться автоматически, по программе с автоматическим расчётом на наземной станции управления трёхмерного вектора ветра в режиме реального времени.

Был предложен еще один способ определения усредненных значений горизонтальной и вертикальной составляющих скорости ветра и его направления [54].

Отметим, что предложенные и реализованные в работе методы, и технические средства измерения параметров ветра в АПС, основанные на использовании аэродинамических характеристик БПЛА (коптера) и его навигационного оборудования, свободны от ошибок, неизбежно сопровождающих технические средства, основанные на непосредственных измерениях параметров воздушного потока на БПЛА.

3.3 Общие требования к метеодатчикам, устанавливаемым на БПЛА для контроля температуры, давления и влажности в АПС

Конструкция отдельных датчиков метеокомплекса, размещаемого на БПЛА, должна удовлетворять требованиям, применяемым к элементам стационарных АМС, которые были рассмотрены в главе 1. Кроме того, к таким метеодатчикам и условиям их размещения на борту БПЛА предъявляются дополнительные требования, которые приведены ниже.

3.3.1 Датчики для контроля температуры воздуха

Для устранения погрешностей, из-за облучения прямой, отраженной солнечной и ИК радиации датчик температуры необходимо устанавливать в

специальную радиационную защиту. Кроме этого, датчик температуры должны быть прочным, чтобы оставаться работоспособным при трясках и вибрациях во время полёта БПЛА, и обеспечивать стабильность характеристик, чтобы сохранять калибровку прибора в течение заданного периода.

Для метеодатчиков, устанавливаемых на БПЛА, одним из основных требований является быстрое действие (постоянная времени), чтобы обеспечивать достоверные измерения метеовеличин при подъёме и спуске БПЛА с заданной скоростью. Постоянная времени датчика при изменении температуры соответствует времени, требуемому чтобы выходное значение датчика достигло уровня 63,2 % от установившегося значения [3]. Постоянная времени датчика прямо пропорциональна теплоёмкости и обратно пропорциональна скорости передачи тепла путем конвекции от этого датчика. Теплоёмкость определяется объемом и материалом датчика, перенос тепла от датчика связан с площадью его поверхности, коэффициентом теплопередачи и скоростью воздушного потока через датчик.

Суммарная погрешность измерения при мониторинге вертикального профиля температуры воздуха с помощью контактного датчика состоит из погрешностей, связанных с:

- калибровкой датчика;
- тепловой инерцией датчика;
- теплообмена в ИК-области между датчиком и средой;
- солнечным радиационным нагревом датчика;
- осаждением воды или льда на датчике;
- саморазогрева датчика.

Большинство материалов и белых красок, применяемых для датчиков температуры, имеют сравнительно высокую эмиссионную способность в ИК-области спектра (более 0,8 мкм). Что приводит к значительным погрешностям в измерении температуры из-за фонового ИК-облучения. Поток ИК-излучения, поступающий на датчик, представляет сумму излучения поверхности Земли и

атмосферы. Солнечная радиация является главным фактором, приводящим к паразитному разогреву датчиков, особенно в дневное время.

У БПЛА источником погрешностей являются потоки разогретого воздуха от винтов и тепловое излучение двигателей.

Учитывая вышесказанное, датчик температуры воздуха в радиационной защите лучше всего размещать, либо в стороне по горизонтали на длинной штанге, либо на держателе над корпусом БПЛА. Подобное размещение датчика даёт хороший естественный обдув, мало влияет на аэродинамическую устойчивость аппарата.

На текущий момент не удалось разработать отражающее покрытие, полностью защищающее от прямого солнечного излучения. Используемые радиационные защиты используют компромиссные решения для хорошей вентиляции датчика и снижения постоянной времени измерения температуры. Поэтому для снижения суммарной погрешности измерения, необходимо, кроме калибровки самого датчика, проведение комплексных калибровок реальной конструкции измерителя, с имитацией температуры, ветра, влажности, давления, солнечной радиации, с последующим созданием зависимости-модели для внесения поправок в реальные измерения.

Из сказанного следует, что для учёта основных факторов искажения измерения (не только температуры), необходимо регистрировать эти факторы датчиками с быстродействием близким к измеряемой величине.

3.3.2 Датчик для контроля влажности воздуха

Успешное функционирование метеорологического датчика относительной влажности воздуха, устанавливаемого на БПЛА, зависит от скорости обмена молекулами воды между датчиком и атмосферой [3], датчик относительной влажности должен обеспечивать разрешение до одного процента. Работа при понижении температуры, когда свободный обмен молекулами воды между

датчиком и атмосферой уменьшается, требует от внешней хорошей вентиляции, иначе появляются значительные погрешности измерения.

Для большинства датчиков относительной влажности необходима защита от атмосферных осадков. На текущий момент в основном применяются ёмкостные тонкопленочные датчики, использующие зависимость диэлектрической проницаемости полимерной пленки от давления водяного пара в окружающей среде. Датчики имеют незначительную температурную зависимость и гистерезис менее 3%.

Суммарная погрешность измерения складывается из погрешностей:

- калибровки;
- инерцией и гистерезисом датчика;
- солнечным нагревом датчика;
- воздействием высокой влажности при проходе облака;
- химическими загрязнениями датчика.

Датчик должен хорошо вентилироваться, и поэтому требования к установке аналогичные, как и для датчика температуры – на внешнем кронштейне.

3.3.3 Датчик для контроля атмосферного давления

Несмотря на то, что в настоящий момент, определение высоты с помощью спутниковых систем глобального позиционирования даёт более высокую точность, чем расчёт высоты по измеренному атмосферному давлению (формула Лапласа), профиль давления воздуха с высотой необходим в современных численных моделях прогноза погоды, например, в условиях отсутствия гидростатического равновесия.

Датчики давления должны удовлетворять следующим требованиям:

- возможность регулярной калибровки или поверки;
- отсутствие влияния температуры;
- внешние воздействия (ветер, температура и вибрация) не оказывали влияние на измерения.

Для датчика атмосферного давления хорошо подходят цифровые мембранные пьезорезисторные или ёмкостные датчики давления с температурной компенсацией, чувствительными элементами в которых являются миниатюрные металлические или полупроводниковые анероидные коробки, одна из сторон которых соединена с пьезорезистором либо является обкладкой конденсатора. Систематическая погрешность таких датчиков определяется зависимостью показаний от внутренней температуры датчика, гистерезисом и упругостью коробки.

3.3.4 Требования к конструкции портативной метеостанции

На основании изложенных выше требований к измерению температуры и влажности воздуха, атмосферного давления сформулируем основные требования к конструктивным особенностям метеостанции, устанавливаемой на БПЛА:

- способность эксплуатироваться в диапазоне температур, давлений и влажности, определяемыми круглогодичными условиями атмосферы в требуемом интервале высот;
- защита датчиков от солнечного и ИК излучений;
- высокий теплообмен датчика температуры с измеряемой средой;
- недопустимость попадания на датчики потоков разогретого воздуха от двигателей БПЛА;
- защита датчиков и электроники от осадков и влаги;
- регистрация измерений в энергонезависимую память с периодом от 1 до 10 секунд;
- радиоканал передачи измеренных величин на базовую наземную станцию, работающий в режиме реального времени;
- устойчивость к вибрации;
- высокая ремонтпригодность и легкость установки и демонтажа с носителя;
- простота замены или зарядки элементов питания;
- компактность и малый вес.

3.3.5 Требования к авианесущей платформе

Соперничать с шар-зондом в классе микро и мини беспилотной авиации могут дирижабли, самолёты и аппараты вертолётного типа (коптеры). Не смотря на хорошую грузоподъёмность дирижабль, для противодействия сильному ветру с его высокопарусной оболочкой, должен обладать мощной и как следствие высокоэнергозатратной двигательной установкой, или быть привязным на тросе, что требует технически сложной лебёдки. Из-за стоимости гелия и связанных с большими размерами эксплуатационных сложностей применение аппаратов с газонаполненной оболочкой в настоящее время затруднено, Тем не менее, гибридные конструкции микродирижаблей, при появлении микрогабаритных высокоэнергоемких и безопасных источников энергии, могут найти массовое потребление для атмосферных измерений. БПЛА самолётного типа хорошо подходит для горизонтальных трассовых измерений, но для получения вертикальных профилей больше всего подходит микрокоптер.

Микрокоптер обладает потенциально самой большой свободой способов полёта, он может зависать над землёй, вращаться, двигаться в любую сторону, в том числе, строго вверх. Микрокоптер [32], если рассматривать наиболее совершенные модели, состоит из рамы с закреплёнными на ней 4, 6, 8, 12 бесколлекторными двигателями с пропеллерами, электроники и литиевого аккумулятора.

Принцип полёта микрокоптера рассмотрим на примере квадрокоптера (платформа с 4-мя двигателями). Его противоположные пары винтов вращаются в противоположном направлении. Для зависания все пропеллеры вращаются на одной скорости, силы между ними уравниваются и это позволяет квадрокоптеру устойчиво парить в воздухе, не вращаясь вокруг своей оси. Для поворота вокруг своей оси, одна противоположная пара моторов начинает вращаться быстрее, а другая, для сохранения общего баланса тяги и высоты, медленнее, для поворота в другую сторону, соответственно, первая пара медленнее, а вторая быстрее. Полёт в заданном направлении обеспечивается

простым наклоном всего аппарата в соответствующем направлении увеличением скорости вращения моторов на противоположной стороне. Микрокоптер, с точки зрения аэродинамики, довольно неустойчивая конструкция и он летает «аккуратно» благодаря контроллеру, управляющему моторами, датчикам положения, ускорения, направления, воздушного давления, температуры, спутниковой навигации. Тем не менее, благодаря воплощению в сравнительно маленьком аппарате множества последних технических достижений мы получили достаточно надёжное устройство для решения широкого круга задач. Для получения вертикальных профилей температуры, влажности и давления воздуха нужна авиаплатформа со следующими возможностями:

- вес устанавливаемой портативной метеостанции - не менее 500 г.;
- (если измерять вертикальное распределение вышеперечисленных основных метеорологических величин, то используя современные электронные компоненты, несложно уложиться в такой вес);
- высота вертикального полёта – не менее 2000 метров (как правило, для наблюдения за метеорологическими величинами АПС этого достаточно);
- максимальная вертикальная скорость - не менее 5 м/с (для получения данных о быстропротекающих атмосферных процессах необходимо сканирование АПС за ограниченное время, а также для применения наработанных методик обработки данных радиозондов, поднимающихся со скоростью от 4 до 6 м/с);
- максимальная горизонтальная скорость - не менее 20 м/с (для работы в условиях сильных ветров);
- время полёта – не менее 20 минут (время достаточное для полёта на высоту не менее 2 км);
- простота в управлении и эксплуатации;
- автоматический или полуавтоматический режим полёта;
- компактность и малый вес.

3.4 Экспериментальный образец портативной электронной метеостанции – ПЭМС-БПЛА

3.4.1 Составные части ПЭМС-БПЛА

Опираясь на требования, сформулированные ранее, был создан экспериментальный образец портативной автоматической электронной метеостанции (ПЭМС) [35] на базе системы автономного мониторинга [45]. Главные параметры ПЭМС, в сравнении с рекомендациями Всемирной метеорологической организации [3], приведены в таблице 3.1.

Для измерения температуры использовался платиновый датчик 701-101ВАА-В00 [66] (рисунок 3.2) с размерами чувствительного элемента $1,2 \times 1,7 \times 0,9$ мм, подключённый по мостовой схеме к 24-х разрядному АЦП.

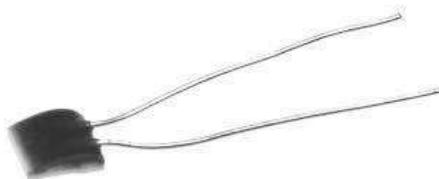


Рисунок 3.2 – Платиновый датчик температуры 701-101ВАА-В00

Таблица 3.1 – Сравнение требований ВМО к радиозондам и характеристик ПЭМС

Измеряемая величина	Параметр	ВМО 5 км	ПЭМС
Температура воздуха	Диапазон, °С	от -40 до +40	от -70 до +60
	Разрешение, К	0,1	0,01
	Погрешность, °С	$\pm 0,3$ К для \leq минус 40; $\pm 0,1$ К для $>$ минус 40 и \leq +40; $\pm 0,3$ К для $>$ +40	$\pm 0,1$; $\pm 0,3$ при ярком солнце
	Постоянная времени, с	≤ 1	$\leq 2,5$
Относительная влажность воздуха	Диапазон, %	от 10 до 100	от 0 до 100
	Разрешение, %	2	1
	Погрешность, %	от ± 1 до ± 5	$\pm 2,5$ при $T > 0^\circ\text{C}$ ± 5 при $T < 0^\circ\text{C}$

	Постоянная времени, с	≤ 20	≤ 3
Атмосферное давление	Диапазон, гПа	от 500 до 1050	от 500 до 1100
	Разрешение, гПа	0,5	0,015
	Погрешность, гПа	$\pm 0,5$	± 4
	Постоянная времени, с	≤ 2	≤ 1

Для измерения относительной влажности воздуха используется датчик НН-5031-001 [67] (рисунок 3.3) с размерами 4,2×8,6×2,7 мм.



Рисунок 3.3 – Датчик влажности воздуха НН-5031-001

Применяемый цифровой датчик атмосферного давления MPL3115A2 [68] (рисунок 3.4) с размерами 2,6×4,6×1,1 мм может работать в диапазоне от 0 до 5 000 метров от уровня моря, а при дополнительной калибровке, до 11 000 метров.

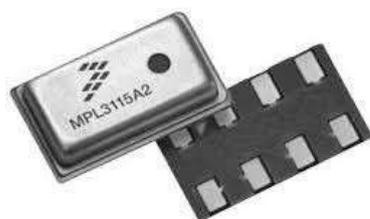


Рисунок 3.4 – Датчик атмосферного давления MPL3115A2

Паспортная точность в 4 гПа при тестировании была намного превышена: тесты показали точность $\sim 0,3$ гПа и стабильность показаний. Датчик атмосферного давления и другие электронные компоненты, рассчитанные на работу в температурном диапазоне от минус 40 до +85 °С, расположены на плате контроллера, причем за счёт саморазогрева и кратковременности полёта, могут работать при температуре окружающей среды до минус 70 °С.

Калибровка используемых метеодатчиков проводилась на оборудовании, описанном в подразделе 2.7 диссертации, с использованием жидкостных

термостатов и эталонного измерителя температуры. Хороший обдув обеспечивает малую постоянную времени датчика. Исследования влияния яркого солнечного света на погрешность измерения температуры не проводились.

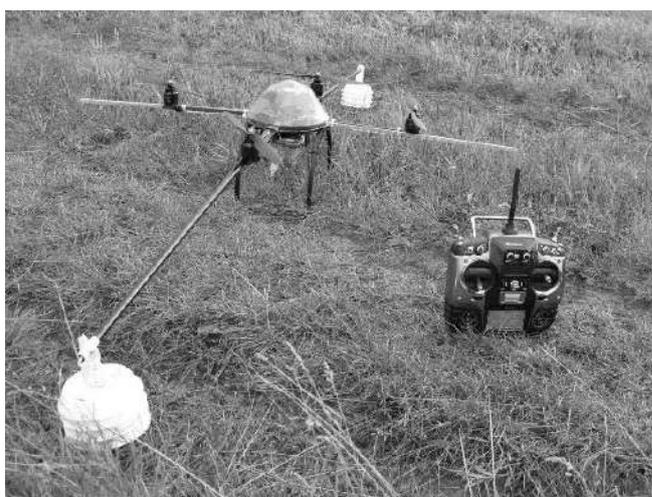
Информация с ПЭМС-БПЛА передается при помощи радиоканала, организованного на приемо-передающих модулях XBee-PRO (рисунок 3.5), которые работают в разрешенном диапазоне частот 2,4 ГГц и могут передавать данные до дальности 1500 м при прямой видимости. Радиомодули XBee-PRO обеспечивают скорость передачи информации до 250 кбит/с. Рабочий диапазон температур радиомодулей от минус 40 до плюс 85 °С.



Рисунок 3.5 – Радиомодемы XBee-PRO

На первом этапе был проведён поиск мест расположения метеодатчиков и оптимальной схемы измерений с учетом возмущений окружающей атмосферы потоками от работающих двигателей.

Были проверены два варианта конструкций на носителях: квадрокоптер МК Quadro XL [69] и гексакоптер DJI модель S900 (рисунок 3.6) [70]. Главные технические характеристики микрокоптеров приведены в таблице 3.2.



а



б

Рисунок 3.6 – ПЭМС-БПЛА: *а*) на квадрокоптере МК Quadro XL на штангах длиной 0,7 м; *б*) на гексакоптере DJI (модель S900) на штаге около 0,4 м

В первом варианте датчики были размещены на концах горизонтальных штанг на расстоянии 70 см от двигателей (см. фото на рисунке 3.6а). Это в большинстве ситуаций обеспечивало минимизацию влияния на струйных потоков от двигателей на датчики, но увеличение габаритов и парусности всей конструкции ухудшало условия эксплуатации такого варианта ПЭМС-БПЛА.

Таблица 3.2 – Технические характеристики микрокоптеров

Параметр	Квадрокоптер МК Quadro XL	Гексакоптера DJI модель S900
Количество двигателей	4	6
Расстояние по осям, мм	736	901
Максимальный полетный вес, кг	5,1	8,1
Полезная нагрузка, кг	2,6	3,1
Тип используемых аккумуляторов	LiPo 4S, 5100mAh,55C	LiPo 6S, 15600mAh, 55C
Максимальная потребляемая мощность, кВт	2	3
Среднее время полета	21	36
Точность зависания (в режиме GPS)		
Вертикальная, м	0,6	0,6
Горизонтальная, м	2,6	2,6
Рабочая температура окружающей среды, °C	от -4 до +36	от -9 до +41
Максимальный ток одного двигателя, А	41	41
Минимальное количество видимых спутников для включения режима GPS	6	6
Максимальная вертикальная скорость (подъём, спуск), м/с	+9, -18	+6, -6
Максимальная скорость горизонтальная, м/с	21	23

Было экспериментально проверено, что тепловые потоки от двигателей БПЛА распространяются на расстояние около 100 метров, что исключает размещение датчиков под носителем, а также понижает точность измерения температуры и влажности воздуха при вертикальном спуске. Поэтому для второго варианта было принято техническое решение разместить датчики над микрокоптером на оси симметрии на высоте около 40 см (см. рисунок 3.6б).

Такая конструкция ПЭМС-БПЛА оказалась более оптимальной, и на нее в ИМКЭС СО РАН была разработана эскизная конструкторская документация АМЯ2.702.109 (см. рисунки 3.7, 3.8), по которой были изготовлены два экспериментальных образца ПЭМС-БПЛА для установке на гексакоптере (рисунки 3.6б, 3.7 и 3.8) [114].

На рисунке 3.7 приведена электрическая функциональная схема разработанного и изготовленного экспериментального образца ПЭМС-БПЛА.

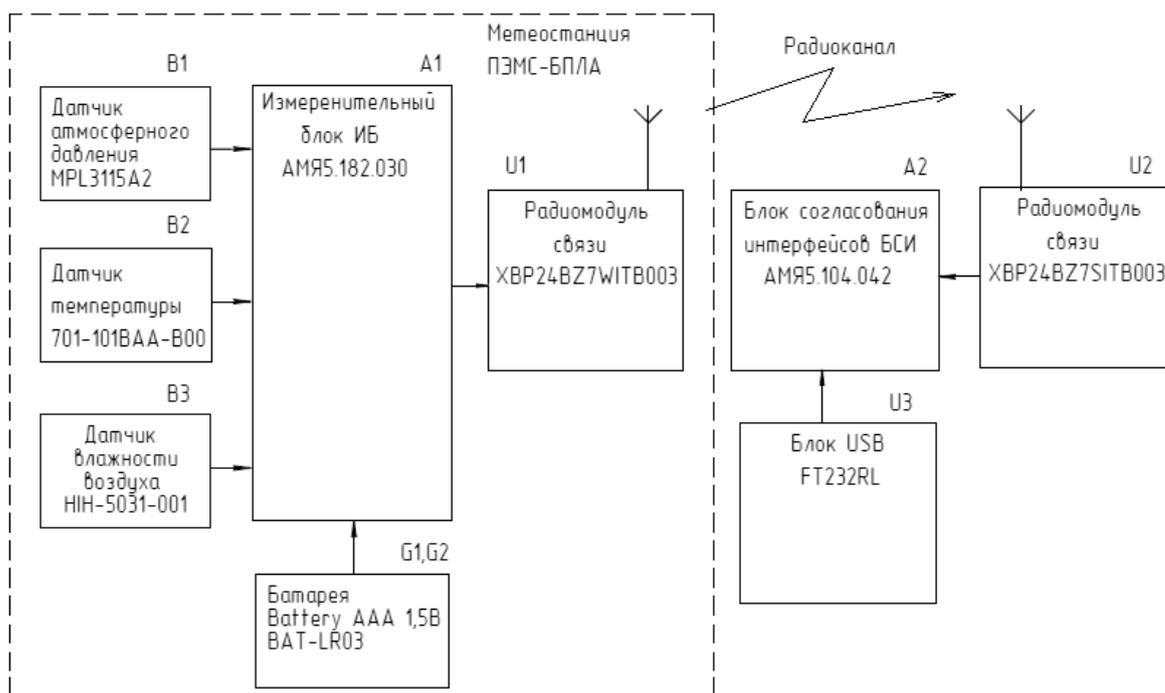


Рисунок 3.7 – Функциональная схема экспериментального образца ПЭМС-БПЛА

На рисунке 3.8 представлена принципиальная электрическая схема измерительного блока ПЭМС-БПЛА.

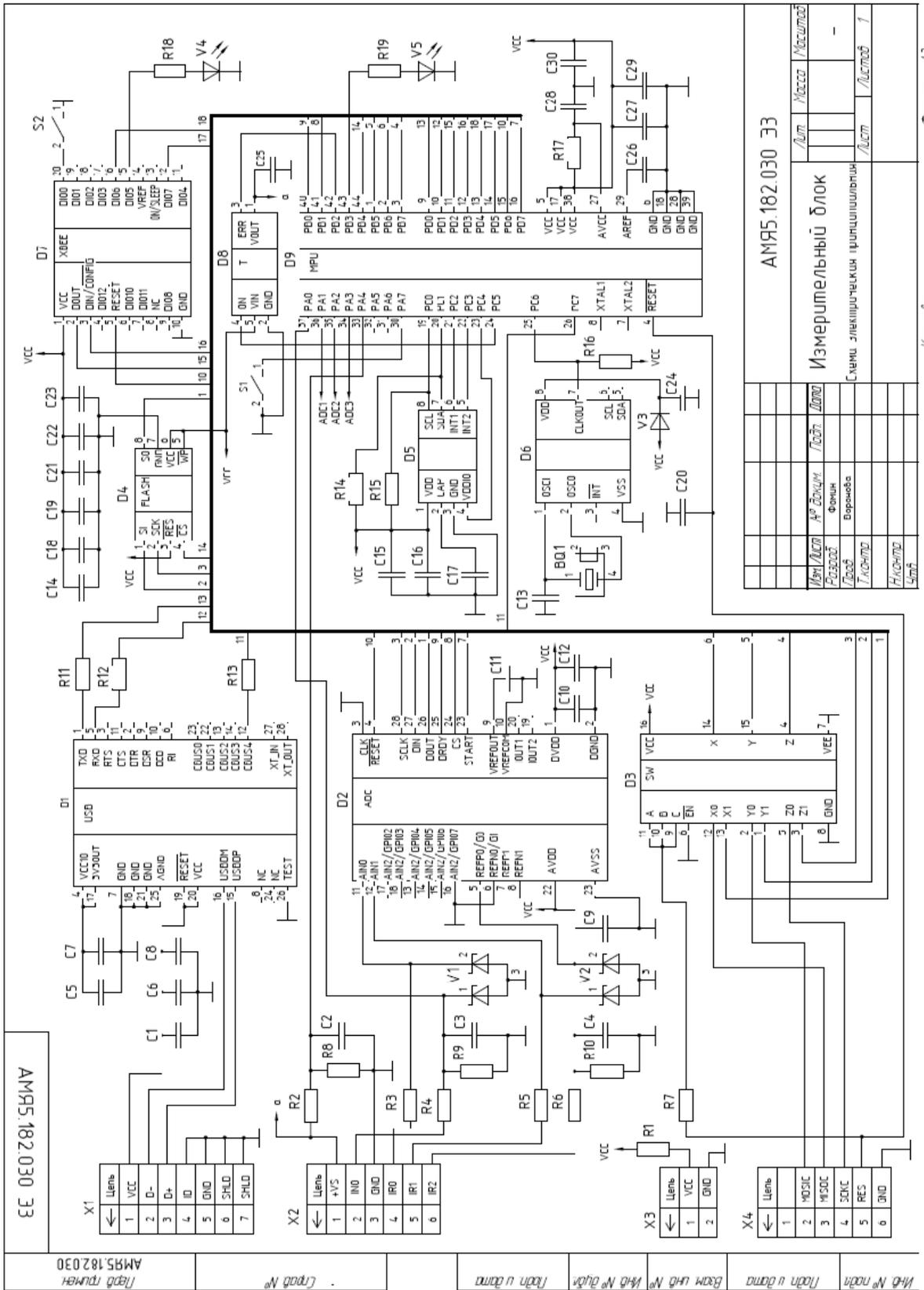


Рисунок 3.8 – Принципиальная схема экспериментального образца ПЭМС-БПЛА

AM95.182.030.33		Лист	Масштаб
Измерительный блок		Лист	Масштаб
Схемы электрических принципиальных			
Исполнитель	М.А. Давыдов	Лист	Масштаб
Проверен	В.А. Бондарь	Лист	Масштаб
Утвержден	В.А. Бондарь	Лист	Масштаб
Дата	15.08.2010	Лист	Масштаб

Формат А3
Контраст

Описание электрической функциональной схемы ПЭМС-БПЛА (рисунок 3.7). Измерительный блок ИБ (А1), регистрирует информацию с датчиков: атмосферного давления (В1), температуры (В2) и влажности воздуха (В3), и через радиоканал, блок согласования интерфейсов А2 передаёт в наземный компьютер. Значения измерений метеостанции также сохраняются во внутренней памяти [71].

Описание электрической принципиальной схемы (рисунок 3.8). Микроконтроллер D9 (ATMEGA1284), используя часы D6 (PCF8563T регистрирует аналоговый сигнал с датчика влажности воздуха (R4, R9, C3, X2), через интерфейс SPI работает с АЦП D2 (ADS1248IPW), к которое через 3-х проводное соединение (R3, R5, R6, R10, C3, C4, V1, X2) измеряет температуру воздуха с помощью платинового терморезистора, также, через интерфейс I2C, считывает значение с датчика атмосферного давления D5 (MPL3115A2), записывает измерения в память D4(AT45DB321) и через XBee-PRO модуль D7 (XBP24BZ7WITB003) пересылает в компьютер. Интерфейс USB X1, D1 (FT232RL) нужен для конфигурирования и считывания данных. Через ключ D8 (FPPF2006) питаются датчики. Разъём X4 предназначен для программирования микроконтроллера. Светодиоды V4 и V5 индицируют режимы работы D7 и D9.

Описание конструкции ПЭМС-БПЛА (рисунки 3.9 и 3.10). Датчики влажности и температуры воздуха располагаются в радиационной защите. На печатной плате измерительного блока, также установлены датчик давления и радиомодем с антенной.

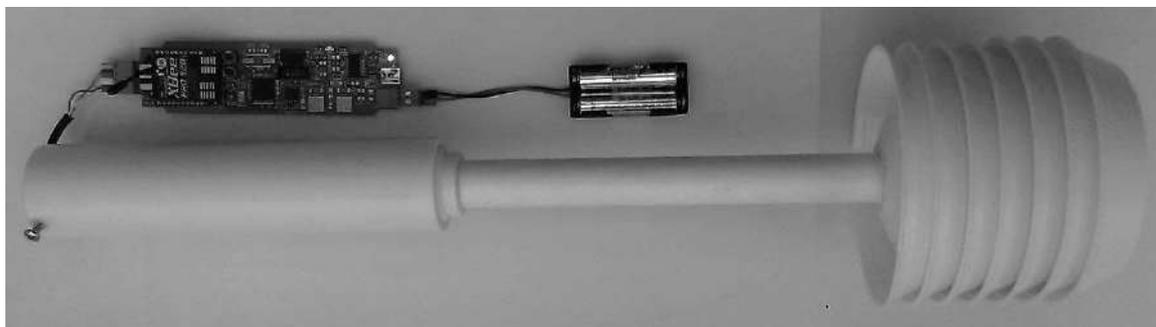


Рисунок 3.9 – Внешний вид ПЭМС



а



б

Рисунок 3.10 – ПЭМС-БПЛА: а) блок связи и антенна; б) ПЭМС БПЛА в работе

В наземный комплект ПЭМС-БПЛА входит внешняя направленная антенна, блок связи и компьютер (рисунок 3.10а). Блок связи согласует USB-интерфейс с модулем радиомодема XBee. Рисунок 3.10б показывает рабочий полет ПЭМС-БПЛА.

Время полёта ограничивается емкостью аккумулятора гексакоптера (20...40 минут), что достаточно для подъема и спуска БПЛА до высоты 2000 м. Для проведения длительного мониторинга вертикальных профилей метеовеличин, можно использовать несколько аккумуляторных батарей.

При скорости подъема аппарата 5 м/с и при постоянной времени датчиков 3 секунды вертикальное разрешение составляет 15 метров. Пространственное разрешение может быть улучшено путём снижения скорости подъёма БПЛА. Для достижения типичной верхней границы АПС в 1 км требуется 200 секунд или 3,5 минуты. Спуск допускалось проводить за меньшее время. Таким образом, за один полёт ПЭМС-БПЛА можно провести измерение не более 4-х вертикальных профилей температуры, давления и влажности в АПС.

Несмотря на то что, Гексакоптера DJI S900 имеет ряд возможностей для автоматизации полёта, например, полёт по точкам, возврат аппарата в точку старта при потере связи и автоматическая посадка при заданном падении напряжения батареи, в дальнейшем управляющий контроллер заменялся на другой с открытым ПО, что позволило убрать заводские ограничения на скорость и дальность полёта, реализовать запись всей телеметрии (высоты, скорости, координат, мощности

двигателей, компаса и гироскопа) и в итоге получить возможность реализации способов измерения параметров ветра. Отображение телеметрии в реальном времени на наземном компьютере повышает безопасность полётов.

Экспериментальный образец описанной выше ПЭМС-БПЛА (рисунки 3.6б, 3.7 ÷ 3.10) был разработана в рамках проекта ФЦП ИР по Соглашению с Минобрнауки РФ от 05.06.2014 № 14.607.21.0030, уникальный идентификатор RFMEFI60714X0030 [34, 114].

Кроме эскизной конструкторской документации автором были разработаны: а) проект руководства по эксплуатации ПЭМС-БПЛА (см. Приложение Б); б) Программа и методики лабораторных испытаний ПЭМС-БПЛА в климатических камерах Контрольно-испытательной станции ИМКЭС СО РАН на соответствие требований технического задания [114]. Были проведены лабораторные испытания двух изготовленных экземпляров экспериментального образца ПЭМС-БПЛА, которые подтвердили достижение показателей назначения заданных в техническом задании. Копия Акта испытаний этих образцов представлена в Приложении В.

3.4.2 Натурные испытания ПЭМС-БПЛА и их результаты

Натурные испытания проводились для двух вариантов конструкции ПЭМС-БПЛА (см. рисунки 3.6а и 3.6б) в окрестностях Томского Академгородка (восточная окраина г. Томска).

Первые полёты для регистрации высотных профилей температуры и влажности воздуха проводились 14 августа 2012 г. Квадрокоптер по программе поднялся на 1100 метров (рисунок 3.11а), на 10-ть секунд зависая на высоте 10, 40, 60, 80, 100, 200, 400, 600 и 800 метров [35].

Испытания модификации ПЭМС-БПЛА, размещенной на гексакоптере (рис. 3.6б) проводились 1 и 2 сентября 2015 г. Путь №1 на рисунке 3.11б показывает полёт гексакоптера до высоты 1972 м. Время подъема составило 11 минут, спуска – около 10 минут [35].

На рис. 3.11б путь № 2 показывает горизонтальную трассу на высоте 40 м проверки способа измерения скорости и направления ветра. Беспилотник, находясь в режиме удержания высоты и горизонтального положения, перемещался под действием силы ветра. Вращение вокруг вертикальной оси с периодом около 5 секунд улучшало устойчивость положения и уменьшало влияние несимметричности конструкции на парусность. Анализируя по логам телеметрии множество промежуточных точек, было установлено, что от точки старта «А» до точки «В» скорость аппарата приблизилась к средней скорости ветра, и далее, БПЛА перемещался сравнительно равномерно. Используя данные компаса и спутниковые координаты, определили направление (248°) и расстояние (298 м) между позициями «В» и «С». Зная время пролёта между этими точками (30 секунд), вычислили среднюю скорость ветра (9,9 м/с), что согласуется с данными метеонаблюдений на 01 сентября 2015 г. Этот эксперимент подтверждает сравнительно простую возможность реализации способа измерения средних характеристик ветра, представленного в п.3.2.1 настоящей главы.

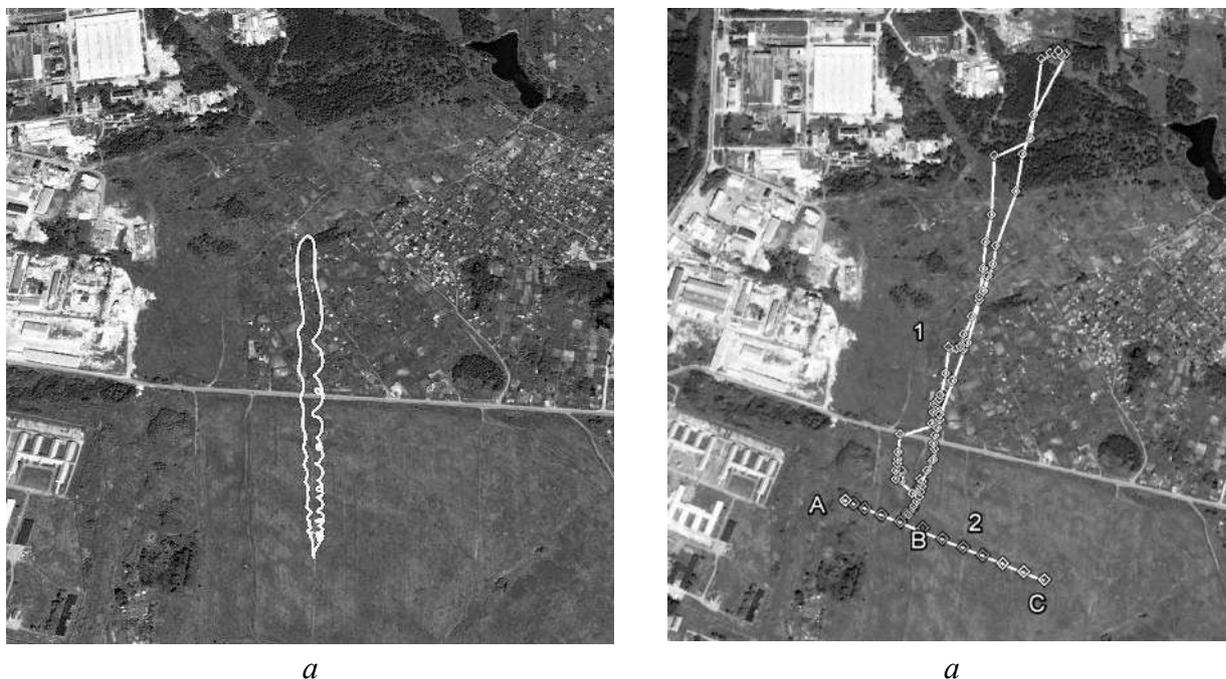


Рисунок 3.11 – Карты «Google Earth» с трассами полётов:
 а) 14 августа 2012 г.; б) 01 и 02 сентября 2015 г.

На рис. 3.12 изображены вертикальные атмосферные профили температуры, давления и относительной влажности воздуха, полученные беспилотной

метеостанцией до высоты 1100 м. Несмотря на поверенные на идентичность датчики температуры и влажности воздуха наблюдается расхождение графиков (рис. 3.12б и 3.12в) показаний датчиков, установленных на разных концах горизонтальной штанги. Десятисекундные зависания отображаются ступеньками. Различия показаний датчиков происходили при подъеме, а при зависании показания сравнивались. Вероятнее всего, это связано с турбулентным перемешиванием окружающего воздуха под действием струй работающих двигателей. Отметим, что максимальные отклонения показаний датчиков не выходили за пределы собственных погрешностей (см. табл. 3.1).

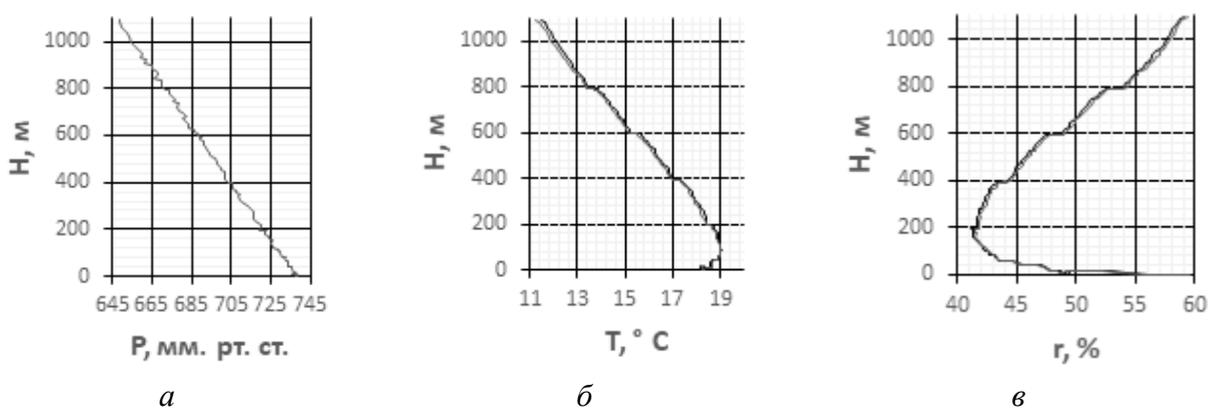
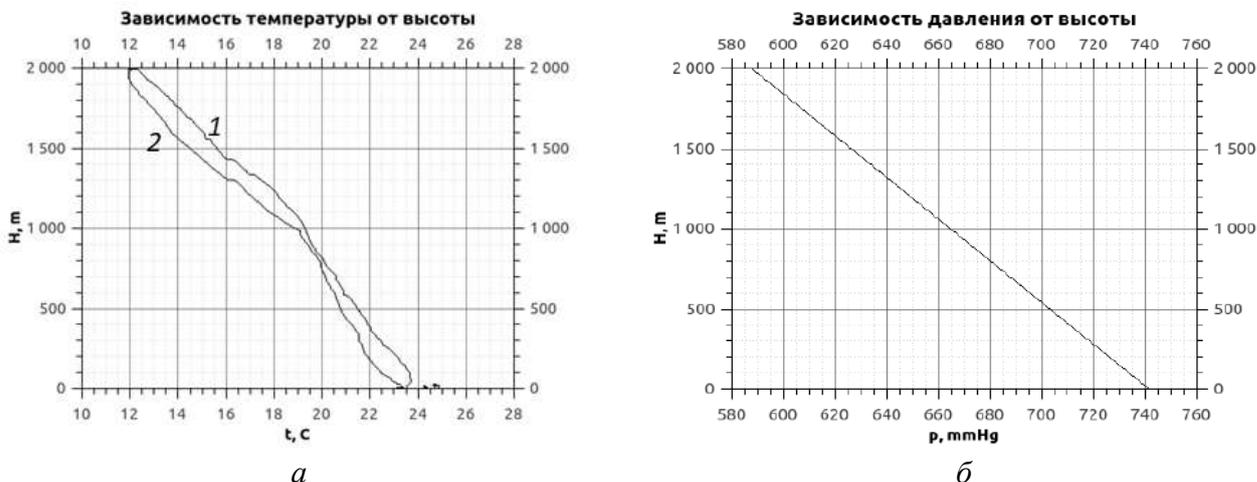


Рисунок 3.12 – Вертикальные профили атмосферы 14.08.2012 г.:

а) давления; б) температуры; в) влажности воздуха

На рисунке 3.13 для примера представлены результаты измерения вертикальных профилей температуры, давления влажности, полученные с помощью ПЭМС-БПЛА, размещенной на гексакоптере (рисунок 3.6б) [114].



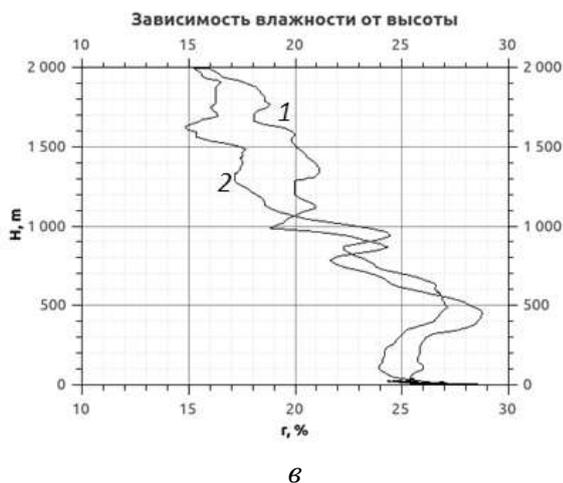


Рисунок 3.13 – Вертикальные профили: а) температуры; б) давления, в) влажности воздуха, измеренные в процессе полета ПЭМС-БПЛА 02.09.2015 г. при подъеме (1) и спуске (2) БПЛА

Подъем до высоты ~ 2 км проходил за 10 минут при средней скорости подъема ≥ 3 м/с, разрешение по высоте составляло 15 м. Спуск проходил в течение 15 минут при средней скорости ≥ 4 м/с. Единичные измерения проводились 1 раз в 5 с.

Измеренный вертикальный профиль давления точно соответствует барометрической формуле. Представленный рисунок 3.13а (зависимость 1) показывает, что на высоте до 100 м наблюдалась температурная инверсия, далее температура практически линейно уменьшалась до 12°C на высоте ~ 2 км. На высоте приземной инверсии относительная влажность воздуха также уменьшалась до значения 24 %. При спуске ПЭМС-БПЛА возможно возрастает влияние воздушных потоков от двигателей на датчик температуры. Погода имела неустойчивый характер, перистые облака, в конце эксперимента - сплошная облачность.

За счёт использования более совершенной системы навигации и автопилотирования, включая доработку программного обеспечения, возможен переход к полётам полностью в автоматическом режиме, что позволит принципиально повысить их безопасность.

В дальнейшем планируется установка на БПЛА миниатюрных датчиков атмосферных газов для получения распределения газового состава атмосферы.

3.5 Выводы по главе 3

1) Теоретически и экспериментально показана возможность определения усредненных значений скорости и направления ветра на заданной высоте путем отслеживания траектории БПЛА коптерного типа под действием ветра с использованием аэродинамических свойств БПЛА и навигационного оборудования, входящего в его состав [53–55].

2) Теоретически обоснован способ определения усредненного вектора скорости ветра по наклону вектора тяги БПЛА [56].

3) Разработан, изготовлен и испытан макет портативной электронной метеостанции, регистрирующей вертикальные профили температуры, давления и относительной влажности атмосферного воздуха, которая размещена на квадрокоптере с установкой метеодатчиков на выносных горизонтальных штангах, симметрично смещенных на расстояние 70 см от вертикальной оси квадрокоптера. Проведены натурные испытания макета ПЭМС по регистрации вертикальных профилей этих метеорологических величин до высоты 1 км.

4) Разработан экспериментальный образец ПЭМС-БПЛА, устанавливаемый на вертикальной оси симметрии гексакоптера с выносом метеодатчиков на высоту 40 см над плоскостью винтов БПЛА. Разработанный образец изготовлен и испытан в климатических камерах и обеспечивает регистрацию: температуры воздуха в диапазоне от минус 50 до +55 °С, с погрешностью $\pm 0,3$ °С; атмосферного давления в диапазоне от 500 до 1000 гПа, с погрешностью $\pm 0,5$ гПа; относительной влажности воздуха в диапазоне от 5 до 100 %, с погрешностью 2,5 %. Передача получаемой метеоинформации производится по радиоканалу в on-line режиме. Проведены натурные испытания экспериментального образца ПЭМС-БПЛА по регистрации вертикальных профилей этих метеорологических величин до высоты 2 км [34, 43, 72, 112, 114].

5) Полевые испытания показали, что использование ПЭМС-БПЛА позволяют регистрировать строго вертикальные профили метеовеличин в сравнении с шарзондом с зависящей от ветра траекторией. Разрешающая способность регистрации

зависит от скорости полёта и постоянной времени датчиков. В моих случаях вертикальное разрешение было 10–15 м. Максимально достижимая высота регистрации вертикальных профилей метеовеличин зависит от аэродинамических параметров БПЛА.

6) Для регистрации быстропротекающих процессов в атмосфере предлагается использование нескольких ПЭМС-БПЛА перемещающихся одновременно друг за другом. Испытания демонстрируют беспилотный мониторинг как эффективное средство верификации и дополнения дистанционных способов зондирования атмосферы.

7) Вышеизложенное позволило сформулировать следующее защищаемое положение:

III. Разработанный алгоритм определения средних значений горизонтальной составляющей скорости в интервале (0...20) м/с с погрешностью $\pm 0,5$ м/с и направления ветра в интервале (0...360) $^\circ$ с погрешностью $\pm 15^\circ$ обеспечивает их вычисление по перемещению БПЛА мультироторного типа, движущегося под воздействием ветра и находящегося в режиме удержания высоты и вертикально направленного вектора тяги, снабженного системой спутниковой навигации, электронным гироскопом и электронным магнитным компасом. При этом полный усреднённый вектор скорости и направления ветра определяется путем измерения наклона вектора тяги БПЛА при его зависании в точке или при равномерном движении.

8) Изложенные в главе 3 результаты представлены в 1 статье [35], 4 патентах [53–56], в материалах 2-х докладов [72, 112] и 2-х отчетах [43,114].

4 Атмосферно-почвенный измерительный комплекс АПИК

Глава посвящена описанию разработанного и реализованного специализированного аппаратно-программного комплекса: базового автономного **атмосферно-почвенного измерительного комплекса (АПИК)** и его модификациям, которые предназначены для оперативного контроля состояния природной среды на труднодоступных территориях. В АПИК в качестве составных частей использованы некоторые из измерительных устройств, которые были разработаны автором и рассмотрены в главах 2 и 3.

4.1 Базовая конструкция атмосферно-почвенного измерительного комплекса АПИК

В России до настоящего времени не достаточно развита сеть станций и постов Росгидромета, в ней метеостанции расположены на больших расстояниях друг от друга. Кроме того, как было показано в Главе 1, представленные на рынке измерительные системы и приборы не вполне соответствуют сформулированным требованиям как ВМО, так и организаций, нуждающихся в оперативной гидрометеорологической информации, включая вузы, НИИ РАН, которые занимаются исследованиями по климато-экологическому мониторингу окружающей среды, а также организаций по контролю и предупреждению чрезвычайных ситуаций. Анализ используемых способов и технических средств регистрации отдельных стандартных и дополнительных метеовеличин также показал, что ряд из них требует существенного обновления. Кроме того, большинство существующих датчиков и АМС не всегда соответствуют требованиям, предъявляемым к аппаратуре, предназначенной для работы на труднодоступных территориях Сибири, Дальнего Востока и Арктики.

На основании рассмотренных в 1-3 главах методов и технических средств для измерения основных и дополнительных гидрометеорологических величин в приземном слое атмосферы, грунтах, почвах, снежных и ледовых покровах была

предложена и реализована оригинальная схема автономного атмосферно-почвенного измерительного комплекса, обобщенная структурная схема которого приведена на рис. 4.1.

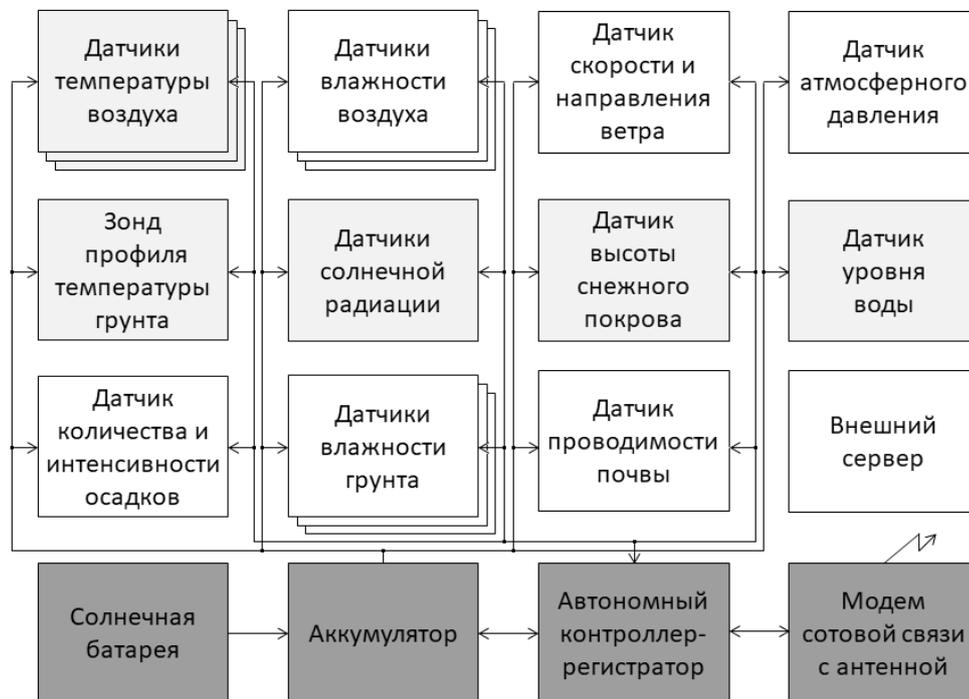


Рисунок 4.1 – Структурная обобщенная схема АПИК

Верхний ряд на рисунке 4.1 представляют датчики для измерения стандартных метеорологических величин (см. п. 1.1.1). Другие датчики предназначены для измерения дополнительных метеорологических величин. При этом серым цветом отмечены датчики, которые были разработаны автором и описаны в главе 2. Остальные измерительные датчики являются покупными. Некоторые датчики могут располагаться на разных уровнях на метеомачте, либо на различных глубинах в грунте. В нижнем ряду показаны: система автономного электропитания, которая включает солнечную батарею и аккумулятор; автономный контроллер-регистратор, который управляет работой всех измерительных датчиков и собирает с них информацию в свою оперативную память. В зависимости от места размещения АПИК и степени автономности, накопленная метеорологическая информация хранится в логгере-накопителе, либо в режиме on-line передается на удаленный сервер и записывается в его базу данных, которой могут пользоваться один или несколько пользователей.

На рисунке 4.2 показана одна из возможных конфигураций АПИК с размещением измерительных датчиков на метеомачте и в грунте, а также на поверхности земли рядом с мачтой [87]. В этой конфигурации используются измерительные датчики как авторской разработки, описанные в главе 2, так и покупные. Характеристики датчиков приведены ниже в таблице 4.1.

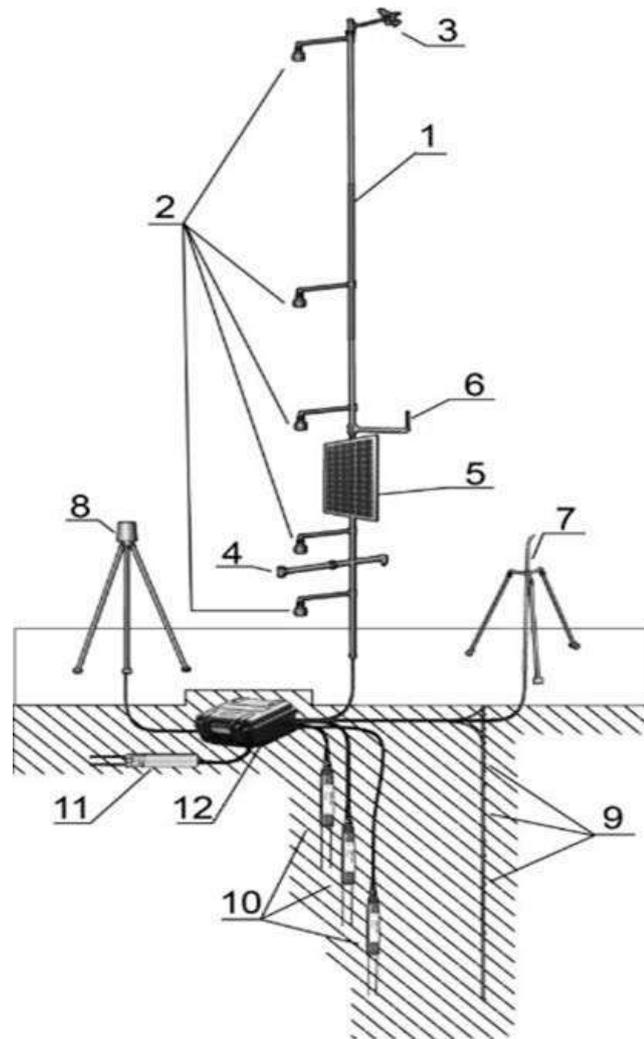


Рисунок 4.2 – Конфигурация АПИК: 1 – мачта; 2 – совмещенные датчики температуры и влажности воздуха; 3 – датчик скорости и направления ветра; 4 – датчик солнечной радиации; 5 – солнечная батарея; 6 – антенна модема сотовой связи; 7 – датчик высоты снежного покрова; 8 – датчик количества и интенсивности жидких осадков; 9 – зонд для измерения профиля температуры грунта; 10 – датчики влажности грунта; 11 – датчики проводимости грунта; 12 – кейс с регистрирующей аппаратурой и автономным электропитанием

Мачта 1 высотой 10 м (рисунок 4.2) предназначена для расположения большей части метеорологического оборудования и выдерживает скорость ветра до 70 м/с. Датчики температуры и влажности воздуха 2 в радиационной защите

установлены на высотах 1, 2, 4, 6 и 10 м. При этом в качестве датчика температуры использован датчик, подобный изображенному на рисунке 2.10. Датчик скорости и направления ветра 3 покупной. Используемый в АПИК датчик суммарной солнечной радиации 4, рассмотренный в п. 2.9, размещен на мачте, на высоте 1,5 м. Датчик собственной конструкции высоты снежного покрова 7 определяет высоту снежного покрова по резкому изменению температуры при переходе границы воздух-снег (см. п. 2.3). Датчик измерения количества и интенсивности жидких осадков 8 покупной. Зонд для контроля профиля температуры грунта 9 (описан в п. 2.6) собственной конструкции [40] обеспечивает кроме рекомендованных уровней [74] размещения датчиков температуры, в зависимости от задачи, любую конфигурацию с минимальным шагом 1 см. Датчики влажности грунта 10 сторонних производителей определяют отношение объёмного содержания воды к объёму вещества по времени распространения радиосигнала в среде. Датчик проводимости воды 11 собственной разработки.

Существуют 2-а варианта размещения автономного контроллера-регистратора (АКР): на мачте и в грунте. При заглублении в грунт температура внутри корпуса контроллера остаётся достаточно стабильной независимо от времени года, но резко возрастают требования к герметичности корпуса. Закреплении контроллера на мачте обеспечивает удобство обслуживания, снижает требования к герметичности, но возрастают требования к защите от солнечного излучения и термостабилизации или термокомпенсации.

АПИК можно дистанционно адаптировать к изменившейся ситуации, конфигурировать, менять период измерения и передачи информации в базу данных, что позволило, используя сеть станций, работающих в необслуживаемом режиме и использующих датчики (основные приведены в табл. 4.1), получить новые данные температуры, влажности, осадков, характеристик глубины промерзания почв и грунтов [104-106, 116, 117].

Разработано ПО визуального представления и экспорта данных в текстовый формат *.csv.

Таблица 4.1 – Датчики, используемые для мониторинга метеорологических величин

№	Датчик	Диапазон измерения	Погрешность
1	Температуры DS18B20	от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
2	Влажности воздуха НН-5031	от 5 до 100%	$\pm 4\%$
3	Влажности грунта TRIME-PICO32	от 0 до 100%	$\pm 1\%$
4	Атмосферного давления MPL3115A2	От 500 до 1100 гПа	± 4 гПа
5	Скорости и направления ветра Davis Anemometer 6410	От 1 до 78 м/с От 0 до 360°	$\pm 6\%$ $\pm 7\%$
6	Количества и интенсивности жидких осадков Davis 7852M	0... 900 мм/ч	$\pm 5\%$
7	Суммарной солнечной радиации БИСП (ИМКЭС СО РАН)	диапазон от 0,35 до 9 мкм, от 0 до 2000 Вт/м ²	$\pm 10\%$
8	Уровня воды (ИМКЭС СО РАН)	От 0 до 10,5 м	$\pm 1\%$
9	Высоты снежного покрова (ИМКЭС СО РАН)	От 0 до 2 м	$\pm 0,05$ м

На рисунке 4.3 показаны модификации АПИК.



а

б

Рисунок 4.3 – Варианты АПИК, установленные: а) в республике Бурятия на полигоне Хурамша; б) в Республике Алтай в пос. Кызыл-Озёк (ИВЭП СО РАН)

Благодаря использованию оригинальных пластиковых и металлических конструкций мачт, модульности конструктивов и применению герметичных разъёмных соединений, удалось добиться простоты в сборке, установке и ремонте комплекса в удалённых и труднодоступных местах.

4.2 Программное обеспечение АПИК

4.2.1. Структура АПИК

Структура распределённого измерительного комплекса, включающего несколько АПИК показана, на рисунке 4.4 [91, 92].

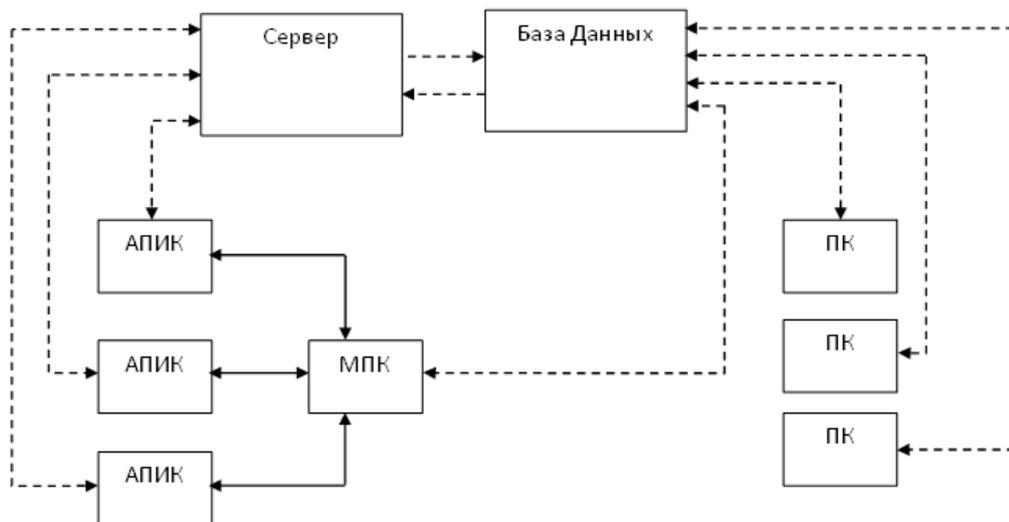


Рисунок 4.4 – Структура распределённого измерительного комплекса

Множество территориально разнесенных АПИК в соответствии с установленными настройками производят измерения, накопление и передачу данных на сервер. Серверное ПО взаимодействует с системой управления базой данных (СУБД). Считывание данных на персональные компьютеры (ПК) и конфигурирование АПИК возможно, как через СУБД, так и напрямую с АПИК, используя ПК или мобильный персональный компьютер (МПК). На ПК установлено клиентское ПО.

4.2.2 Алгоритм работы контроллера-регистратора

Описанное ниже программное обеспечение разработано при участии автора. В контроллере-регистраторе (рисунок 4.5) применён микроконтроллер (ATMEGA1280), который с заданным периодом опрашивает цифровые и аналоговые датчики и сохраняет данные в энергонезависимой памяти (AT45DB321) с привязкой ко времени измерения, с помощью часов (PCF8563T). В памяти логгера также фиксируется напряжение питания [93, 118].

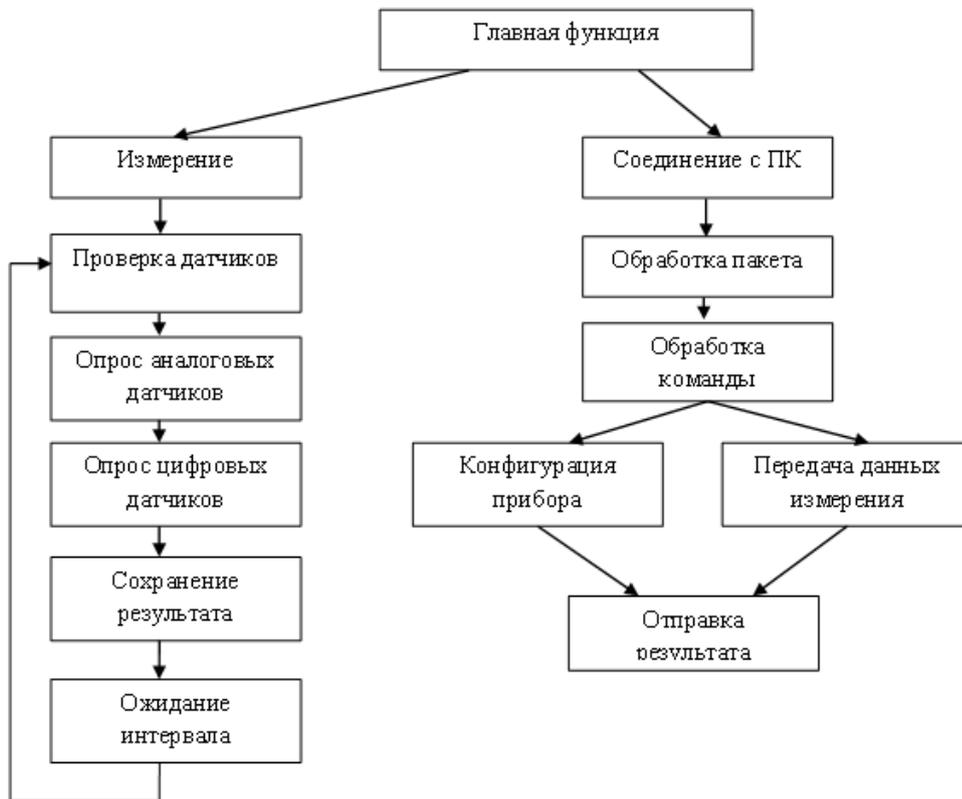


Рисунок 4.5 – Укрупнённая схема алгоритма работы контроллера-регистратора

Связь для конфигурирования работы и считывания данных на внешний сервер происходит через GSM-модем, Wi-Fi модуль, спутниковый интернет или напрямую через интерфейс USB (FT232RL). Для экономии энергии контроллер почти всё время находится в спящем режиме.

4.2.3 Сервер и База данных

Передача данных измерителя АПИК с использованием GSM модема требует наличия серверного приложения, которое будет обрабатывать данные полученные с прибора. Модем прибора для экономии питания большую часть времени находится в отключенном состоянии и подключается к питанию для связи с сервером через определённые интервалы времени.

Возможна запись с ПК и хранение в БД данных, полученных с логов, для удобства обработки. Предусмотрена возможность внеочередного сеанса связи при выходе измеряемого параметра за установленные границы с последующей передачей в диспетчерский сервис.

Связь пользователя с прибором осуществляется через базу данных, что позволяет получить данные измерения и информацию о конфигурации прибора на момент последнего успешного соединения в любой момент времени. С целью предотвращения несанкционированного доступа к информации, сервер баз данных позволяет настраивать права доступа для пользователей.

Основной функцией серверного приложения является получение данных с измерительных датчиков АПИК и сохранение их в базе данных, а также сравнение текущей конфигурации прибора с сохранённой в базе данных и, в зависимости от приоритета, изменение параметров в базе данных или на датчике.

После запуска серверное приложение создаёт серверный сокет, который прослушивает выбранный порт для соединения с прибором. Для каждого прибора после соединения создаётся сокет, который обеспечивает соединение: тип соединения точка – точка. Приложение создаёт отдельную сессию для каждого присоединившегося в данный момент прибора, что позволяет изолировать данные одного прибора от других. После завершения обмена данными сессия удаляется.

Операции чтения и записи для сокета происходят внутри сессии и выполняются в асинхронном режиме. После установки соединения с прибором сервер запрашивает идентификационные параметры прибора, определяет сервер баз данных и загружает текущую конфигурацию прибора из базы данных для

сравнения. С целью уменьшения трафика конфигурация каналов определяется по контрольной сумме, полученной с использованием алгоритма md5.

Данные измерения считываются и сохраняются в базе данных. За одно соединение прибор передаёт несколько измерений, определённых параметром множитель. Экстренное соединение инициируется контроллером при выходе измеренного значения за заданные пределы, при этом в базе данных устанавливается соответствующий признак. Обработка экстренного соединения предполагает информирование пользователя. Информация о соединении каждого прибора записывается в соответствующие файлы логов сервера.

4.2.4 Клиентское приложение

Клиентское приложение выполнено в среде Borland C++ Builder. Функциональная схема программы представлена на рисунке 4.6.

Для связи прибора с ПК используется микросхема FTDI FT232RL, позволяющая подключиться через USB порт, и обмениваться данными по протоколу Universal asynchronous receiver/transmitter (UART), который поддерживают микроконтроллеры. FTDI позволяет использовать два интерфейса для передачи данных: D2XX и Virtual COM Port (VCP). Архитектура драйвера FTDI для операционной системы Windows представлена на рис. 4.7.

Интерфейс VCP создаёт виртуальный COM порт, через который происходит обмен данными, как с физическим COM портом используя функции операционной системы. После выбора скорости и нажатия кнопки “открыть порт” вызывается функция открытия и настройки выбранного COM порта. Работа с COM портом в Windows организована как с обычным файлом, для работы с которым используются функции: открытие файла, чтение и запись данных, закрытие файла.

Протокол обмена данными с прибором основан на формате Intel – HEX, в котором двоичные данные представляются в виде кодов American Standard Code for Information Interchange (ASCII). Общий формат пакета представлен в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Общий формат пакета

начало	Длина пакета	Адрес регистратора	Команда запроса	Данные	Контрольная сумма
:	1 байт	1 байт	1 байт	Не более 240 байт	1 байт

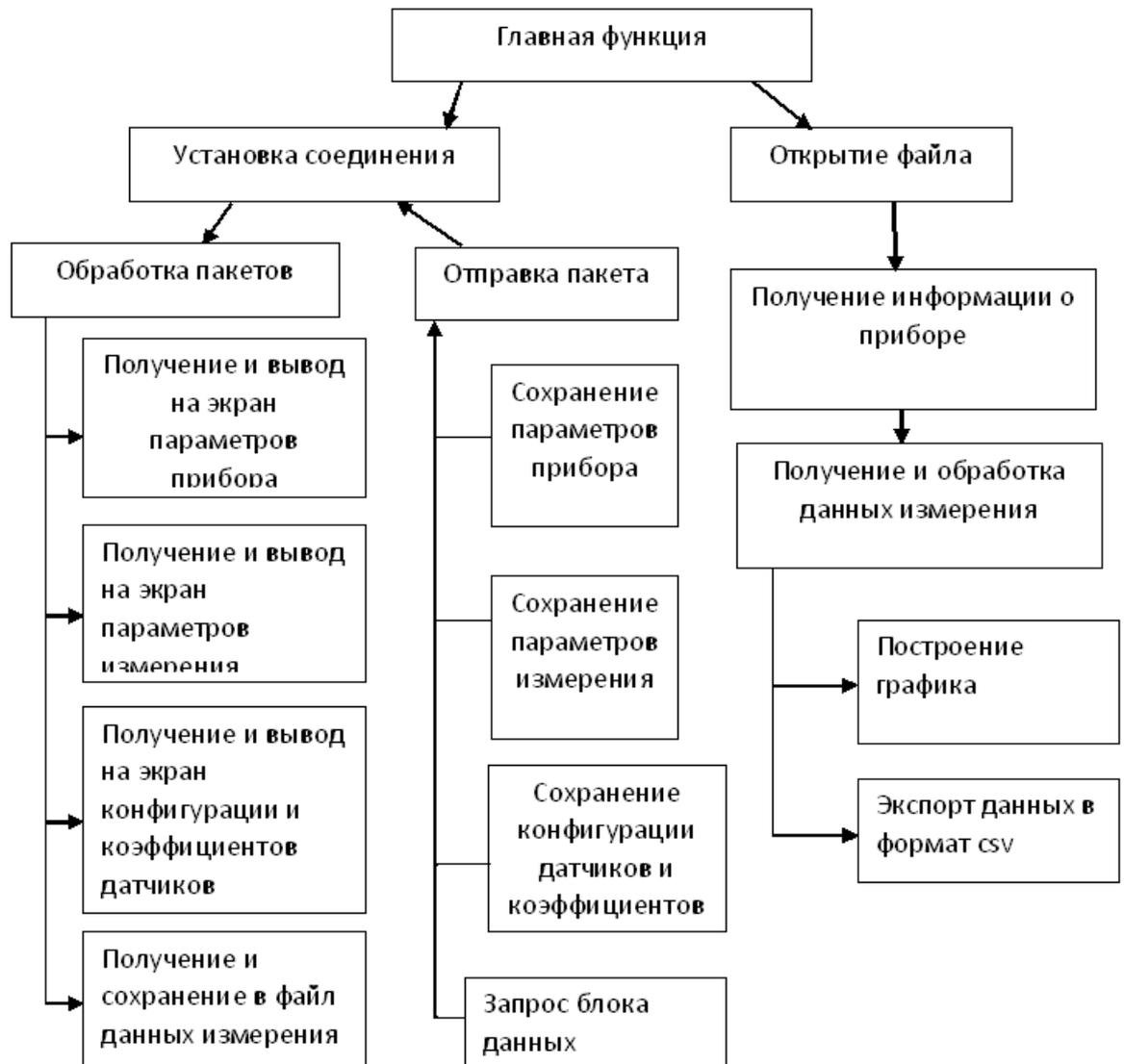


Рисунок 4.6 – Функциональная схема программы

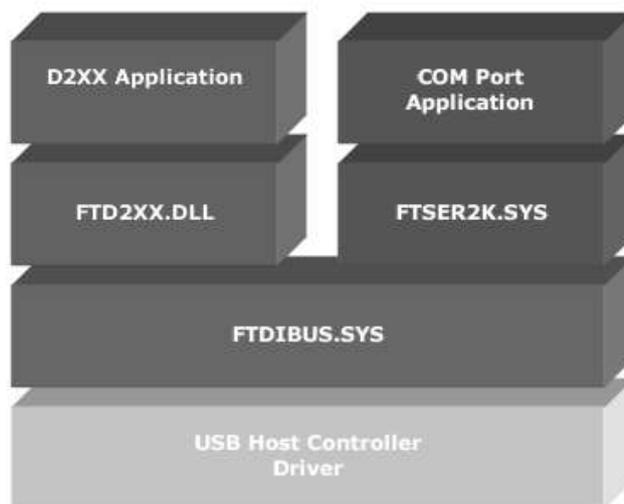


Рисунок 4.7 – Архитектура драйвера FTDI

Длина пакета содержит сумму количества байт полей: “Адрес регистратора”, ”Команда запроса” и “Данные”. Контрольная сумма рассчитывается на основе полей: ”длина пакета”, “Адрес регистратора”, ”Команда запроса” и “Данные”.

Преобразование в формат HEX и обратно в языке C++ происходит через бинарное представление и его запись в указатель переменной соответствующего типа. Данный протокол обмена данными выбран по следующим причинам:

- данные передаются в виде текста, что упрощает отладку;
- каждый байт представлен двумя символами, что делает возможной передачу данных без разделителей.

4.3 Регистратор для скрытой установки

Представленные выше комплексы, совместно с необходимым ПО, размещались, как правило, на охраняемых территориях: геофизические обсерватории и полигоны научно-исследовательских или учебных организаций. К аналогичному оборудованию, предназначенному к установке вне охраняемых территорий, предъявляется целый ряд дополнительных требований, обозначаемых общим термином «антивандальные». Пример разработки оборудования, удовлетворяющего требованиям «антивандальности», представлен ниже.

При скрытом размещении комплекса на местности невозможно использование демаскирующих конструкций комплекса: антенн, солнечных батарей и многих типов датчиков. Эти ограничения приводят к формированию аппаратно-программного комплекса – *Регистратор для скрытной установки*, со следующими функциями: использование только датчиков параметров грунта (температуры, влажности, проводимости, уровня грунтовых вод); ультрамалое энергопотребление (питание от неперезаряжаемых гальванических элементов); большая внутренняя энергонезависимая память для хранения измерений; интерфейс USB; использование для считывания данных специального кабеля с герметичным разъёмом (чтобы не выкапывать контроллер из земли); максимальная степень защиты оболочки прибора IP68 (возможная работа ниже уровня грунтовых вод).

Функциональная схема разработанного устройства представлена на рис. 4.8.



Рисунок 4.8 – Функциональная схема типового Регистратора

В Регистраторе применяется микроконтроллер (ATMEGA1284), который через цифровой интерфейс (1-Wire) опрашивает температурные датчики (DS18B20), аналоговые входы и сохраняет данные в энергонезависимой памяти (AT45DB321) с привязкой ко времени измерения, с помощью часов (PCF8563T). В памяти логгера также фиксируется напряжение питания. Интерфейс USB (FT232RL) нужен для связи регистратора с компьютером, для конфигурирования и

считывания данных.

На рисунке 4.9 показан внешний вид Регистраторов: а) с термокосой, предназначенный для непрерывных измерений температур мерзлотных грунтов до 10 метров в глубину; б) с температурными датчиками на глубинах 0; 2; 5; 10; 15; 20, 25; 30, 35; 40; 45; 50; 55; 60; 80; 100; 120; 160; 200; 240; 280; 320 см и измерителем влажности грунта.

Измеритель с датчиками уровня и проводимости воды (а), способ установки датчиков в пластиковых трубах в горную реку (б) и скрытое размещение Регистратора (в) показаны на рис. 4.9.

*а**б**в*

Рисунок 4.9 – Регистратор с датчиками уровня и проводимости воды

Основные характеристики Регистратора скрытой установки приведены в таблице 4.3.

Для предохранения от деформаций сжатия при замерзании окружающего влажного грунта, корпус измерителя дополнительно обматывается вспененной теплоизоляцией.

Таблица 4.3 – Основные характеристики Регистратора скрытой установки

Параметр	Характеристика
Объём энергонезависимой памяти	4 Мбайт (1 000 000 измерений)
Период измерения	от 2 секунд до 12 часов
Количество подключаемых цифровых датчиков температуры, штук	90
Количество входов 10-ти разрядного АЦП	7
Ток потребления в режиме сна, мА	0,07
Средний ток потребления в активном режиме, мА	10
Среднее время работы от элементов питания, лет	5
Диапазон рабочих температур блока регистратора, °С	от –55 до +65
Степень защиты от внешних воздействий	IP67, IP68

4.4 Автономный контроллер-регистратор как элемент сети мониторинга

Для создания сетей мониторинга необходима разработка базового элемента этой сети, которым является *Автономный контроллер-регистратор* (АКР). В качестве прототипа взят регистратор [115]. Схема разработанного АКР представлена на рис. 4.10, а общий вид – на 4.11.

Разработаны различные по сложности контроллеры, от самые простых (логгеров) до контроллеров с двадцатью и более аналоговыми входами. В итоге для унификации ПО и схемных решений, была разработаны линейка из 3-х типов контроллеров, с одинаковым ПО и схемотехникой, когда для создания контроллера с меньшими габаритами, удалялись компоненты повышенной функциональности. Разумеется, уменьшить функциональность, можно, не устанавливая электронные компоненты на печатную плату контроллера с расширенными возможностями

АКР (рис. 4.10, 4.11), в отличие от Регистратора скрытой установки, снабжен (см. таблицу 4.4) дополнительными аналоговыми и цифровыми интерфейсами (RS485, RS232 – 2 шт.), а, главное, он через интерфейсные модули расширения может подключаться к сетям GSM, Wi-Fi, Ethernet и спутниковому интернету.

В максимальной конфигурации рис. 4.10 микроконтроллер (ATMEGA1280) опрашивает цифровые датчики, в том числе через интерфейс (1-Wire) температурные (DS18B20), аналоговые входы и сохраняет данные в памяти (Flash AT45DB321) с привязкой ко времени измерения с помощью часов (PCF8563T). В памяти дополнительно фиксируется напряжения солнечной батареи, аккумулятора, питание и ток датчиков, температура платы контроллера. Интерфейс USB (FT232RL) нужен для связи регистратора с компьютером, для конфигурирования и считывания данных.

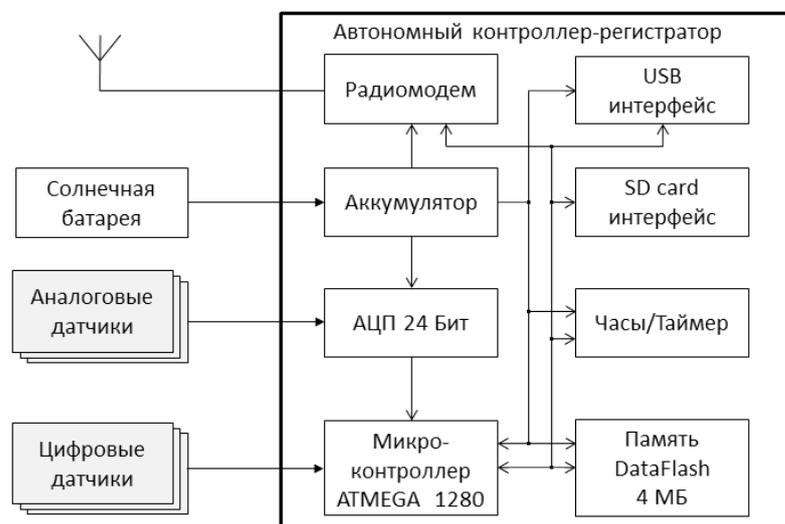


Рисунок 4.10 – Функциональная схема автономного контроллера-регистратора

Таблица 4.4 – Основные характеристики АКР

Параметр	Характеристика
Объём энергонезависимой памяти	4 Мбайт (1 000 000 измерений)
Период измерения	от 2 секунд до 12 часов
Количество подключаемых цифровых датчиков температуры, шт	72
Количество входов 10-ти разрядного АЦП	10
Количество входов 24-ти разрядного АЦП	14
Ток потребления в режиме сна, мА	От 0,1 до 5
Средний ток потребления в активном режиме (без датчиков), мА	10
Ресурс работы аккумулятора, лет	10

Диапазон рабочих температур блока регистратора, °С	от –55 до +65
Степень защиты от внешних воздействий	IP67

SD card интерфейс обеспечивает ещё большее удобство считывания данных. GSM-связь даёт особый уровень сервиса: оперативную передачу измерений на сервер хранения данных. Для оптимизации контроллера, в случае отсутствия беспроводной связи (GSM, WI FI и спутниковой), соответствующие блоки и интерфейсы к ним можно не устанавливать.

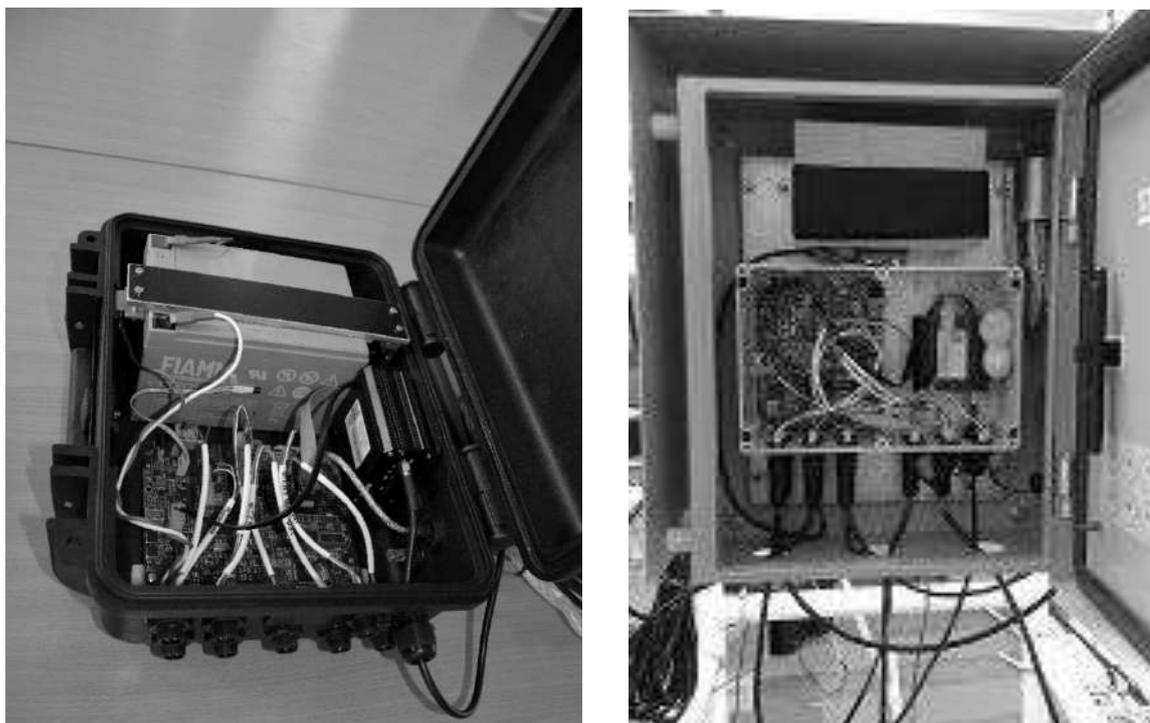
*a**б*

Рисунок 4.11 – Варианты корпусов АКР: *a* – ударопрочный герметичный кейс;
б – щитовое исполнение

Питание регистратора обеспечивается свинцовым гелиевым аккумулятором 12FGHL48, который, через схему с температурной коррекцией напряжения заряда, подпитывается от маломощной солнечной батареи.

4.5 Апробация и результаты применения автономных комплексов контроля природной среды

В настоящее время более 200 различных модификаций АПИК работают на обширной территории Сибири, Дальнего Востока, а также в других регионах. Расположение действующих и действовавших АПИК показано на рисунке 4.12.

Важной характеристикой АПИК является комплексность получаемой информации. Совместный анализ собранных данных позволяет более детально выявить природу наблюдаемых процессов.



Рисунок 4.12 – География расположения и применения АПИК

Первым полигоном для натурных испытаний созданных комплексов АПИК послужили районы Большого Васюганского болота, где уже более 10 лет успешно проводятся исследования изменений температурного и водного режима [50].

Продemonстрируем результаты комплексного анализа данных АПИК [75–83] на примере контроля уровневого режима бессточного озера Красиловское [84, 85], расположенного в Косихинском районе Алтайского края ($53^{\circ} 10'$ с. ш.; $84^{\circ} 26'$ в. д.; абсолютная высота 220 м).

Период наблюдений охватывает два временных интервала [48], сентябрь–май 2013–2014 и 2014–2015 гг., различных по динамике процессов снегонакопления и снеготаяния, температурного режима воздуха и грунта, весеннего подъема уровня воды.

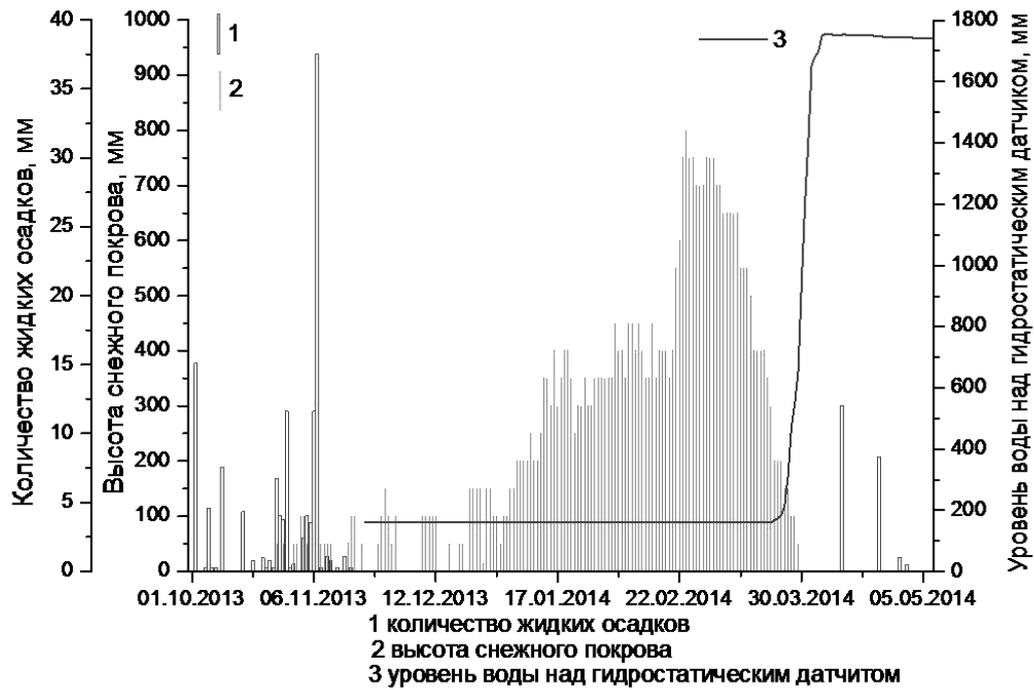
Полученные при помощи АПИК данные (показаны в таблице 4.5) отражают различие условий, определивших поверхностный приток озера весной 2014 и 2015 гг. прежде всего по запасу и интенсивности таяния снега, количеству жидких осадков в период образования и таяния снежного покрова.

Таблица 4.5 – Гидрометеорологические условия, предшествующие подъему уровня озера Красиловское весной 2014 и 2015 гг.

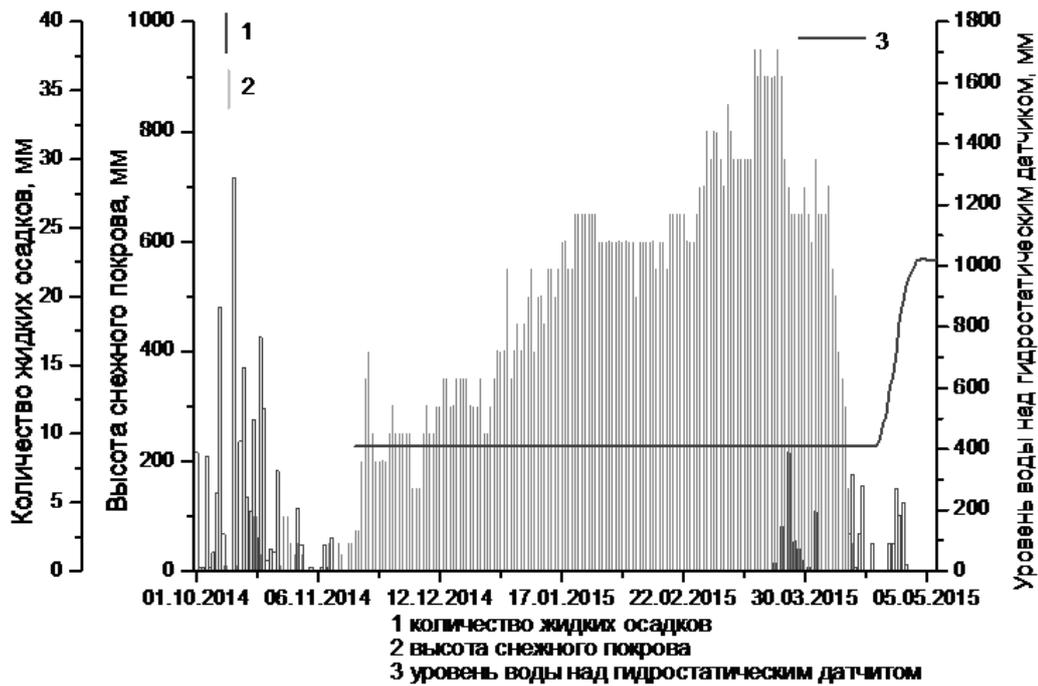
Период наблюдений	01.09.2013- 10.05.2014	01.09.2014- 10.05.2015
Сроки установления устойчивого снежного покрова	22.12	17.11
Период ледостава	21.11.2013- 20.03.2014	17.11.2014- 20.04.2015
Кол-во жидких осадков за период (октябрь - ноябрь), мм	125,4	167,4
Высота снежного покрова, мм	750	950
Водозапас снега, мм	50	181
Период таяния	12.03-30.03 (19 суток)	06.04-14.04 (9 суток)
Средняя температура воздуха в период таяния снега, °С	1,6	4,1
Скорость снеготаяния, мм/сут.	13	22
Количество жидких осадков за время снеготаяния, мм	0	41,58

В 2015 г. запас воды в снежном покрове в 3,7 раза был больше чем 2014 г. Период таяния в 2015 г. был в 2,1 раза короче, а его скорость в 1,8 раза выше, чем в 2014 г. Можно было ожидать, что в 2015 г. талые воды дадут более, по сравнению с 2014 г., подъем уровня озера. Но весной 2015 г. уровень оказался в 2,7 раза ниже чем в 2014 г.

Данные за 2013–2014 гг. и 2014–2015 гг. представлены на рис. 4.12 и 4.13 соответственно. Состояние грунта, конкретно, способность мерзлой почвы поглощать воду существенно влияет на поверхностные стоки. На рис. 4.13 показаны среднесуточные температуры на глубине 5 и 30 см. и температура воздуха. По данным АПИК, при температурах воздуха около -10 °С в отсутствие снежного покрова грунт промерз до глубины 20 см (см. рис. 4.13а и 4.14а).



а

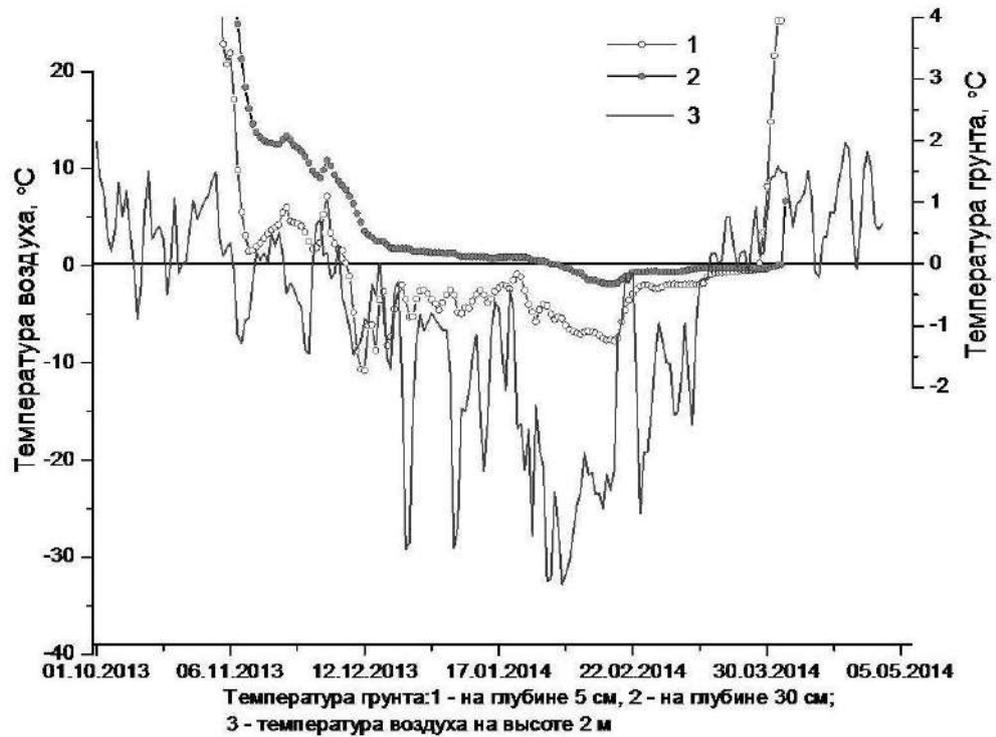


б

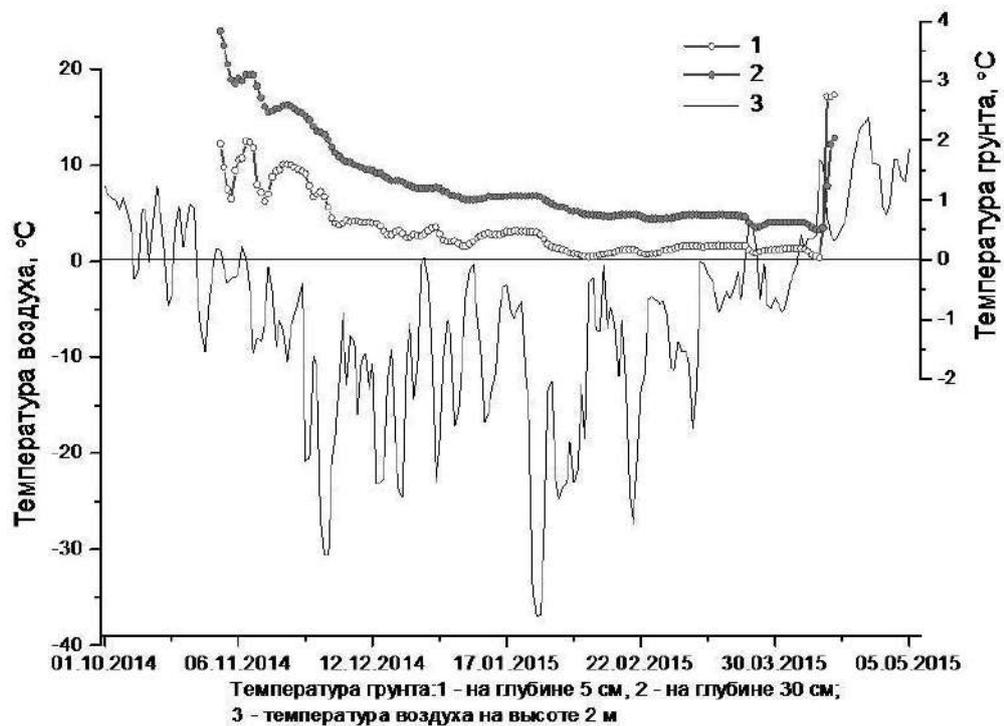
Рисунок 4.13 – Данные жидких осадков, высоты снежного покрова, уровня воды: а – в 2013–2014 гг.; б – в 2014–2015 гг. 1 – количество жидких осадков; 2 – высота снежного покрова, 3 – уровень воды

В время снеготаяния (см. таблицу 4.5) приповерхностный слой почвы был мерзлым, мешал проникновению талых вод на глубину (см. рисунки 4.13а и 4.14а).

Осенью-зимой 2014–2015 гг. температуры грунта были другими (см. рисунки 4.136 и 4.146).



a



б

Рисунок 4.14 – Ход среднесуточных температур грунта и воздуха: а — в 2013–2014 гг.; б — в 2014–2015 гг. Температура грунта: 1 — на глубине 5 см, 2 — на глубине 30 см; 3 — температура воздуха на 2 м

Исследование комплексом АПИК гидрометеорологии бессточного озера Красиловское Алтайского края показано:

- разработанный и реализованный, на основе предложенных методов измерения основных и дополнительных метеорологических величин, АПИК подтвердил свою надёжность и работоспособность в широком диапазоне условий эксплуатации, что позволит создать на его основе сети для оперативного контроля состояния природной среды на труднодоступных территориях;
- большой подъем уровня воды весной 2014 г. при малоснежной был обусловлен температурным режимом воздуха в осенне-зимний период и состоянием грунта во время таяния;
- Наполнение озера произошло из-за создания в почве ледяного запирающего слоя на глубине до 30 см.

4.6 Выводы по главе 4

1) Разработана концепция и структурная схема базового атмосферно-измерительного комплекса АПИК, включающего датчики для контроля изменения стандартных метеорологических величин: температуры, влажности, атмосферного давления, скорости и направления ветра. При этом использована оригинальная конструкция совмещенного датчика температуры и влажности воздуха. АПИК дополнен авторскими датчиками для контроля дополнительных метеовеличин: высоты снежного покрова, суммарной солнечной радиации, профиля температуры грунта, уровня воды, а также датчиками сторонних производителей: количества жидких осадков и влажности грунта.

2) Разработанный алгоритм работы контроллера-регистратора АПИК обеспечивает с заданным периодом опрос цифровых и аналоговых датчиков, сохранение полученных данных в энергонезависимой памяти (логгере) с привязкой ко времени измерения с помощью встроенного таймера. Связь для конфигурирования работы и считывания данных на внешний сервер происходит через GSM-модем, Wi-Fi модуль, спутниковый интернет или напрямую через

интерфейс USB. Для экономии энергии контроллер почти всё время находится в спящем режиме.

3) Для длительной непрерывной работы АПИК обеспечен автономным электропитанием от солнечной батареи и аккумуляторов.

4) Для последующего использования метеорологической информации, занесенной в базу данных сервера, разработано клиентское приложение с соответствующим протоколом обмена данных.

5) Разработана также конструкция контроллера-регистратора антивандального исполнения для его скрытой установки на неохраямой территории.

6) Представлены результаты применения АПИК для климатических исследований в районах Большого Васюганского болота и Красиловского озера Алтайского края. Всего было разработано и изготовлено более 30 комплектов АПИК различных конфигураций, которые эксплуатировались в различных климатических зонах России от Белгородской области на западе до Магаданской на востоке и от Гыданского полуострова на севере, до Алтайских гор на юге.

7) Полученные результаты позволили сформулировать следующее защищаемое положение:

IV. Созданная обширная сеть автономных атмосферно-почвенных измерительных комплексов АПИК, включающих датчики, основных и дополнительных метеорологических величин, автономные контроллеры-регистраторы, радиомодули передачи информации, сервер и базу данных и разработанное к ним программное обеспечение, позволяют осуществить долговременный комплексный мониторинг состояния природной среды в удаленных и труднодоступных болотных, лесных, степных и горных ландшафтах без участия операторов-метеорологов.

8) Изложенные в Главе 4 результаты представлены в 11 статьях [45, 78, 87, 89, 96, 99, 105–107, 116, 117], 1 патенте [115] и 23 материалах и тезисах докладов [73, 75–77, 79–83, 86, 88, 90–94, 97, 98, 100–104, 118].

Заключение

1. Проведен обзор существующих датчиков для измерения стандартных и дополнительных метеорологических величин и АМС, использующих эти датчики, отмечены их недостатки, осложняющие работу АМС на труднодоступных территориях и сформулированы цели и задачи диссертационной работы. Отмечено, что создание автономных систем и датчиков текущей диагностики и контроля состояния снежного и ледового покрова, текущего пространственного распределения полей метеорологических величин в окрестности АМС, включая атмосферу и грунтовые покровы, разработка способов построения аппаратуры для непосредственной передачи измеренной информации по модемному или спутниковому каналам связи для труднодоступных территорий является весьма актуальной задачей.

2. Предложен датчик для контроля высоты снежного покрова, основанный на анализе вертикального профиля температуры в воздухе и снежном покрове. Созданный датчик в количестве более 50 шт. установлен на ряде наблюдательных постов и метеостанций в качестве средства контроля.

3. Разработана и изготовлена конструкция одноразового датчика контроля высоты снежного покрова, применяемого для оценки лавинной опасности. Предложена методика использования такого датчика для оценки снегозапаса и степени лавинной опасности на горных склонах.

4. Разработана и обоснована конструкция автоматического регистратора таяния ледников Куракова на основе термокосы, в которой датчики температуры расположены на равном расстоянии друг от друга и которые последовательно соединены между собой гибким кабелем. Конструкция дает возможность определения положения верхней границы ледяного покрова, обеспечивает установку термокосы вертикально с упором в дно скважины, снижение механических нагрузок на измерительный элемент (термокосу) за счет ее автоматического складывания.

5. Создан комплект термозондов различного конструктивного исполнения, предназначенных для непрерывного контроля вертикального профиля

температуры в почве и грунтах до глубины 500 см с различным пространственным разрешением (минимальное разрешение 5 мм). Обосновано техническое решение по выводу информации из термозонда и передаче ее в контроллер для уменьшения теплопередачи по соединительному кабелю.

6. Разработан и изготовлен датчик уровня воды, который обеспечивает оперативный контроль изменений уровня в широком диапазоне высот, характерном для развития паводков и половодий.

7. Разработан и изготовлен экспериментальный образец блока контроля потока падающей и отраженной солнечной радиации, который имеет два измерительных модуля, ориентированных на 180° относительно друг друга. Модуль контроля потока солнечной радиации имеет два зачернённых и два блестящих алюминиевых сектора, температура которых регистрируется четырьмя терморезисторами.

8. Теоретически и экспериментально показана возможность определения усредненных значений скорости и направления ветра на заданной высоте путем отслеживания траектории БПЛА коптерного типа под действием ветра с использованием аэродинамических свойств БПЛА и навигационного оборудования, входящего в его состав. Теоретически обоснован способ определения усредненного вектора скорости ветра по наклону вектора тяги БПЛА.

9. Разработан и изготовлен экспериментальный образец портативной электронной метеостанции ПЭМС-БПЛА, регистрирующей вертикальные профили температуры, давления и относительной влажности атмосферного воздуха, устанавливаемой на мультикоптере с передачей информации по радиоканалу в on-line режиме. Проведены испытания экспериментального образца в климатической камере, которые показали, что он обеспечивает контроль: температуры воздуха в диапазоне от минус 50 до +55 °С, с погрешностью $\pm 0,3$ °С; атмосферного давления в диапазоне от 500 до 1000 гПа, с погрешностью $\pm 0,5$ гПа; относительной влажности воздуха в диапазоне от 5 до 100 %, с погрешностью 2,5 %. Проведены натурные испытания экспериментального образца ПЭМС-БПЛА по регистрации вертикальных профилей этих метеорологических величин до высоты 2 км.

10. Разработана концепция и структурная схема базового атмосферно-измерительного комплекса АПИК, включающего датчики для контроля изменения стандартных метеорологических величин: температуры, влажности, атмосферного давления, скорости и направления ветра. При этом использована оригинальная конструкция совмещенного датчика температуры и влажности воздуха. АПИК дополнен авторскими датчиками для контроля дополнительных величин: высоты снежного покрова, солнечной радиации, профиля температуры грунта, уровня воды, а также покупными датчиками: количества и интенсивности осадков, влажности грунта и проводимости почвы.

11. Разработанный алгоритм работы контроллера-регистратора АПИК обеспечивает с заданным периодом опрос цифровых и аналоговых датчиков, сохранение полученных данных в энергонезависимой памяти (логгере) с привязкой ко времени регистрации с помощью встроенного таймера. Связь для конфигурирования работы и считывания данных на внешний сервер происходит через GSM-модем, Wi-Fi модуль, спутниковый интернет или напрямую через интерфейс USB. Для экономии энергии контроллер почти всё время находится в спящем режиме. Для последующего использования метеорологической информации, занесенной в базу данных сервера, разработано клиентское приложение с соответствующим протоколом обмена данных.

12. Представлены результаты применения АПИК для климатических исследований в районах Большого Васюганского болота, Красиловского озера Алтайского края. Всего было разработано и изготовлено более 30 АПИК различных конфигураций, которые эксплуатировались в различных климатических зонах России от Белгородской до Магаданской областей и от Гыданского полуострова на севере до Алтайских гор на юге.

Перечень сокращений и обозначений

АКЛ – автоматический контроллер-логгер

АКР – автоматический контроллер-регистратор

АМК – автоматизированный метеорологический комплекс

АМС – автоматическая метеорологическая станция

АПИК – атмосферно-почвенный измерительный комплекс

АПС – атмосферный пограничный слой

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

БД – база данных

БИСР – блок измерения солнечной радиации

БПЛА – беспилотный летательный аппарат

ВМО – Всемирная метеорологическая организация

ИБ – измерительный блок

ИК – инфракрасный

МПО – мобильный персональный компьютер

ПК – персональный компьютер

ПНИ – прикладные научные исследования

ПНИЭР – прикладные научные исследования и экспериментальные разработки

ПО – программное обеспечение

ПЭМС – портативная электронная метеорологическая станция

СУБД – система управления базой данных

ФЦП – федеральная целевая программа

УФ – ультрафиолетовый

Список литературы

1. ВМО-№ 544. Наставление по Глобальной системе наблюдений. Том I – Глобальные аспекты. Дополнение V к Техническому регламенту ВМО. – Женева: Всемирная метеорологическая организация, 2015. – 60 с.
2. РД 52.18.761–2012. Средства измерений гидрометеорологического назначения сетевые: Общие технические требования. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 36 с.
3. ВМО №8. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. Женева: Всемирная метеорологическая организация, 2017. – 1400 с.
4. Vaisala. Приборы для контроля физических параметров воздушной среды и метеорологии. WXT520 [Электронный ресурс]. – URL: http://xena-vaisala.ru/products/avtomatizatsija_zdaniy/produksija/meteostantsii/wxt520/ (дата обращения: 13.04.2020).
5. Tактическая система метеонаблюдений Vaisala MAWS201M [Электронный ресурс]. – URL: <https://vaisala.nt-rt.ru/images/manuals/MAWS201M.pdf> (дата обращения: 13.04.2020).
6. ИРАМ АИИС «Погода» [Электронный ресурс]. – URL: http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=61-0 (дата обращения: 13.04.2020).
7. Корольков В.А. Автоматизированные акустические и оптико-электронные комплексы и системы для экологического и метеорологического мониторинга атмосферы: дис. док. тех. наук: 05.11.13. – Томск, 2016. – 471 с.
8. CAMPBELL SCIENTIFIC. METSENS600: Compact Weather Sensor for Temperature, RH, Barometric Pressure, Wind, and Precipitation [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.campbellsci.com/metsens600> (дата обращения: 13.04.200).
9. Davis Instruments. Weather Monitoring. Wireless Vantage Pro2™ Plus with 24-Hr Fan Aspirated Radiation Shield [Электронный ресурс]. – URL:

- https://www.davisinstruments.com/product/wireless-vantage-pro2-plus-with-24-hr-fan-aspirated-radiation-shield/#product_doc_popup (дата обращения: 13.04.2020).
- 10.000 Сибаналитприбор. Документы. Автономная метеорологическая станция АМК-03П-12. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteosap.ru/wp-content/uploads/2017/11/2-АМК-03П-12-РЭ.pdf> (дата обращения: 13.04.2020).
- 11.Р 52.04.818–2014. Рекомендации по эксплуатации автоматизированных метеорологических комплексов в наблюдательных подразделениях. – СПб: Росгидромет, 2014. – 52 с.
- 12.U274ru-1.2. Датчик температуры и влажности HMP45A & HMP45D. Руководство по эксплуатации. – Vaisala, 1999. – 13 с.
- 13.VAISALA – Приборы для контроля физических параметров воздушной среды и метеорологии. Товары, снятые с производства [Электронный ресурс] – URL: http://xena-vaisala.ru/products/tovari_snjatie_s_proizvodstva/ptb220/ (дата обращения: 13.04.2020).
- 14.Цифровой барометр РТВ330 для профессиональной метеорологии, авиации и промышленности [Электронный ресурс]. – Vaisala, 2014. – URL: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/CEN-TIA-G-PTB330-Datasheet-B210708RU-E-LOW-v1.pdf> (дата обращения: 13.04.2020).
- 15.Р 52.18.851–2016. Основные средства измерений гидрометеорологического назначения, применяемые на государственной наблюдательной сети. – Обнинск: Росгидромет, 2016. – 80 с.
- 16.R.M. Young Company. Products. Wind Monitor - Model 05103 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.youngusa.com/products/7/5.html> (дата обращения: 13.04.2020).
- 17.Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 456 с.
- 18.SR50A Sonic Ranging Sensor [Электронный ресурс]. – Campbell Scientific, 2011. – URL: <https://www.campbellsci.com/sr50a> (дата обращения: 13.04.2020).

- 19.Lufft [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lufft.com/> (дата обращения: 13.04.2020).
- 20.ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытания. – М.: Стандартинформ, 2011. – 31 с.
- 21.Temperatures.ru – информационный портал. Кварцевые датчики температуры [Электронный ресурс]. – URL: http://temperatures.ru/pages/kvarcevye_datchiki_temperature (дата обращения: 28.11.2018).
- 22.СКТБ ЭлПА. Резонаторы кварцевые термочувствительные [Электронный ресурс]. – URL: <https://qsens.ru/produktsiya-ru/rezonatory-kvartsevye-termochuvstvitelnye.html> (дата обращения: 12.04.2020).
- 23.Пирометрия оптическая // Большая российская энциклопедия. Электронная версия (2016) [Электронный ресурс]. – URL: <https://bigenc.ru/physics/text/3140866> (дата обращения: 13.04.2020).
- 24.DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Электронный ресурс]. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/246/DOC004246203.pdf> (дата обращения: 13.04.2020).
- 25.Ходжаева Г.К. Метеорологические методы и приборы наблюдений. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. – 189 с.
- 26.WMO/TD-No. 1180: Quality assurance in monitoring solar ultraviolet radiation: the state of the art. GAW Report No. 146. – Geneva, 2003. – 45 p.
- 27.Расторгуев И.П. Беспилотные технологии мониторинга погодных условий // Гелиогеофизические исследования. – 2014. – №. 8. – С. 51–54.
- 28.Горелик А.Г. Повышение информационных возможностей метеорологической радиолокации за счет применения малогабаритных летательных аппаратов (МБПЛА), оснащенных контактными, радиоволновыми и оптическими датчиками / А.Г. Горелик, С.Ф. Коломиец, Н.М. Ситников // «Радиолокация и радиосвязь»: Тезисы IX Всероссийской научно-технической конференции (Москва, 23-25 ноября 2015 г.). – Москва: Из-во ИРЭ РАН. – С. 260–263.

29. Ситников Н.М. Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга атмосферы / Н.М. Ситников, Д.В. Акмулин, Ю.А. Борисов, В.И. Ситникова, А.О. Соколов, А.Э. Улановский, И.И. Чекулаев, Ф. Равеньяни // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 1. – С. 90–99.
30. Ситников Н.М. Возвращаемый аэрологический зонд на базе беспилотного или дистанционно пилотируемого летательного аппарата для баллонного зондирования атмосферы / Н.М. Ситников, Ю.А. Борисов, И.И. Чекулаев, Д.И. Ефремов, Д.В. Акмулин, В.И. Ситникова, А.Э. Улановский // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 9. – С. 90–96.
31. Ситников Н.М. Расширение возможностей метеобеспечения условий распространения электромагнитного излучения в атмосфере за счет использования беспилотных летательных аппаратов / Н.М. Ситников, И.И. Чекулаев, Д.В. Акмулин, А.Д. Катюнин, В.И. Ситникова, А.Э. Улановский // «Радиолокация и радиосвязь»: Тезисы IX Всероссийской научно-технической конференции (Москва, 23-25 ноября 2015 г.). – Москва: Из-во ИРЭ РАН. – С. 81–85.
32. Ситников Н.М. Малогабаритный автоматизированный зонд на базе БПЛА с вертикальным взлетом и посадкой для метеорологического обеспечения экологически опасных объектов / Н.М. Ситников, А.С. Азаров, И.И. Чекулаев, Д.В. Акмулин, В.И. Ситникова, А.Д. Катюнин, А.Э. Улановский // «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: последствия и пути преодоления»: сборник докладов научно-практической конференции (Обнинск, 19–21 апреля 2016 г.). – Обнинск: НПО «Тайфун».
33. Качнов Я.В. Результаты испытания метеозонда на платформе БПЛА / Я.В. Качнов, В.В. Чукин // XXI научная конференции по радиофизике: Труды Всероссийской конференции (Нижний Новгород, 15 – 22 мая 2017 г.). – Нижний Новгород: Из-во ННГУ, 2017. – С. 510–511.
34. Отчет о ПНИ «Разработка измерительно-вычислительной системы для реализации технологии мезомасштабного мониторинга и прогнозирования атмосферного пограничного слоя» (промежуточный) этап 2 / Федеральное

государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН; рук. Тихомиров А.А. – Томск. – 2015. – 266 с. № ГР 114102740064.

35. Кураков С.А. Беспилотный измеритель вертикальных профилей метеопараметров в пограничном слое атмосферы / С.А. Кураков, В.В. Зуев // Оптика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 29, №11. – С. 994–999.
36. Пат. 316057 СССР, МПК G01W 1/14. Датчик высоты снежного покрова / Гольшев Г. И. – № 1447128/18-10; заявл. 08.06.1970; опубл. 01.10.1971. Бюл. № 29.
37. Пат. 2542598 Российская Федерация, МПК G01W 1/14. Датчик высоты снежного покрова / Кураков С. А.; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. – № 2013136310/28; заявл. 01.08.2013; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5.
38. Пат. 2617146 Российская Федерация, МПК G01W 1/14. Датчик уровня высоты снежного покрова для оценки лавинной опасности / Кураков С.А.; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. – № 2015144845; заявл. 19.10.2015; опубл. 21.04.2017, Бюл. № 12.
39. Пат. 2606346 Российская Федерация, МПК E21B 47/07, G01K 13/00, G01W 1/00. Автоматический регистратор таяния ледников Куракова / Кураков С.А., Куракова П.С., Куракова О.А.; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. – № 2015154925; заявл. 21.12.2015; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1.
40. Пат. 2658552 Российская Федерация, МПК (2006.01) G01K 3/00, G01K 13/00, E21B 47/07. Устройство для измерения вертикального профиля температуры среды / Кураков С.А., Куракова П.С., Макеев Е. А., Дьячков А. В., Жуйков К. Л., Сидоркина Е. В.; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. – № 2017128070; заявл. 06.06.2017; опубл. 21.06.2018, Бюл. № 18.
41. Пат. 2613907 Российская Федерация, МПК G01N 33/24. Способ осуществления мониторинга за параметрами почвы / Кураков С.А.; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. – № 2016139182/15(060089); заявл. 14.09.2015; опубл. 21.03.2017, Бюл. № 9. – 8 с.

42. Кураков С. А. Повышение точности цифровых датчиков температуры DS18B20 / С. А. Кураков, В. А. Крутиков, В. Г. Ушаков, Ю. С. Трофимов // «VII Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу»: Тезисы Всероссийской конференции (Томск, 8-10 октября 2007 г.). – 2007. – С. 402.
43. Отчет о выполнении НИОКР «Разработка беспилотного летательного измерительного комплекса (БЛИК) метеорологической, экологической и геологической разведки» (заключительный) / ООО «Сибаналитприбор». рук. Корольков В.А. – Томск. – 2018. – 173 с. № ГР АААА-А17-117020210075-0.
44. Отчет о ПНИ «Разработка и создание автоматической метеорологической станции арктического исполнения для труднодоступных территорий и Северного морского коридора (АрктикМетео)» (промежуточный), этап 1. Ч.1. (промежуточный) этап 1 / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН; рук. Корольков А.А. – Томск. – 2018. Часть 1. – 271 с. № ГР АААА-А18-118120490011-8.
45. Кураков С. А. Система автономного мониторинга состояния окружающей среды // Датчики и системы. 2012. – № 4 (155). – С. 29–32.
46. Honeywell. Sensing and Internet of Things. 26PC05SMT, [Электронный ресурс]. – URL: <https://sensing.honeywell.com/26PC05SMT-unamplified-board-mount-pressure-sensors> (дата обращения: 13.04.2020).
47. 4-20mA Current Transmitters with Sensor Excitation and Linearization [Электронный ресурс]: – URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/xtr112.pdf> (дата обращения: 13.04.2020).
48. Зуев В.В. Динамика весеннего подъема уровня бессточных озер (на примере озера Красиловское Алтайского края) / В.В. Зуев, Н.Е. Зуева, С.А., Кураков, И.А. Суторихин, Н. . Харламова. // География и природные ресурсы 2016, № 4 с. 76–80.
49. Отчет о ПНИ «Разработка и создание автоматической метеорологической станции арктического исполнения для труднодоступных территорий и Северного морского коридора (АрктикМетео)» (промежуточный), этап 2 /

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН; рук. Корольков А.А. – Томск. – 2019. – 450 с. № ГР АААА-А18-118120490011-8.

50. Дубровская Л.И. Оценка элементов водного баланса и их динамика на заболоченных водосборах Васюганского болота / Л.И. Дубровская, Д.В. Дроздова, С.А. Кураков // Вестник ТГПУ. – 2011. – Вып. № 5 (107). – С. 112–116.
51. Дюкарев Е.А. Дифференциальные измерители уровня болотных вод / Е.А. Дюкарев, С.А. Кураков, Ю.А. Харанжевская // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: Материалы Третьей международной научно-практической конференции (Томск, 27 сентября – 3 октября 2015 г.). – Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», 2015. – С. 72–75.
52. Кураков С.А. Новые датчики и технические решения в атмосферно-почвенном измерительном комплексе (АПИК) / С.А. Кураков // «XI Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу»: Тезисы Всероссийской конференции (Томск, 21 – 23 сентября 2015). – Томск, 2015. – С. 207–208.
53. Пат. 2600519 Российская Федерация, МПК G01W 1/00. Способ определения усредненных значений скорости и направления ветра / Кураков С.А.; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. – № 2015136211/28; заявл. 26.08.2015; опубл. 20.10.2016, Бюл. № 29.
54. Пат. 2650094 Российская Федерация, МПК (2006.01) G01P 5/00, G01W 1/08. Способ определения усредненных значений горизонтальной и вертикальной составляющих скорости ветра и его направления / Кураков С.А., Куракова П.С., Куракова О.А.; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. – № 2016119943; заявл. 23.05.2016; опубл. 06.04.2018, Бюл. № 10.
55. Пат. 2616352 Российская Федерация, МПК G01W 1/08. Способ определения усредненных значений горизонтальной и вертикальной составляющих скорости ветра и его направления / Кураков С.А., Куракова П.С., Куракова О.А.;

- заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. – № 2016107560; заявл. 01.03.2016; опубл. 14.04.2017, Бюл. № 11.
56. Пат. 2617020 Российская Федерация, МПК G01W 1/08. Способ определения усредненного вектора скорости ветра / Кураков С.А., Куракова П.С., Куракова О.А.; заявитель и патентообладатель ИМКЭС СО РАН. – № 2016117531; заявл. 04.05.2016; опубл. 19.04.2017, Бюл. № 11.
57. Куприков М. Ю. Беспилотный летательный аппарат // Большая российская энциклопедия. Электронная версия (2016) [Электронный ресурс]. – URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/4087725 (дата обращения: 14.04.2020).
58. Степанов Н.Н. Сферическая тригонометрия / Н.Н. Степанов. – 2-е изд. – Л.-М.: ОГИЗ. Гостехиздат, 1948. – 154 с.
59. Морозов, В.П. Курс сфероидической геодезии / В.П. Морозов. – М.: Недра, 1979. – 296 с.
60. Закатов П.С. Курс высшей геодезии / П.С. Закатов. – М.: Недра, 1976. – 511 с.
61. Vincenty T. Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with Application of Nested Equations // Survey Review. 1975. – V. 23, № 176. – P. 88–93.
62. GIS-Lab. Вычисление расстояния и начального азимута между двумя точками на сфере [Электронный ресурс]. – URL: <http://gis-lab.info/qa/great-circles.html> (дата обращения: 14.04.2020).
63. Вентцель М.К. Сферическая тригонометрия: Учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. / М.К. Вентцель. – М.: Геодезиздат, 1948. – 154 с.
64. Михайлов В.С. Навигация и лоция / В.С. Михайлов, В.Г. Кудрявцев, В.С. Давыдов. – Киев: КГАВТ, 2009. – 618 с.
65. ГОСТ 32453-2013. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек.
66. Honeywell. Sensing and Internet of Things. 701-101BAA-B00 [Электронный ресурс]. – URL: <https://sensing.honeywell.com/701-101BAA-B00-rtd-sensors> (дата обращения: 14.04.2020).

67. Honeywell. Sensing and Internet of Things. HIH-5031-001 [Электронный ресурс]: <http://sensing.honeywell.com/HIH-5031-001-Humidity-Sensors> (дата обращения: 14.04.2020).
68. NXP Semiconductor. MPL3115A2: 20 to 110 kPa, Absolute Digital Pressure Sensor [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nxp.com/products/automotive-products/sensors/pressure-sensors-for-automotive/barometric-pressure-15-to-115-kpa/20-to-110kpa-absolute-digital-pressure-sensor:MPL3115A2?fsrch=1&sr=1&pageNum=1> (дата обращения: 14.04.2020).
69. Kopterinfo.ru – Квадрокоптеры: обзоры, инструкции, советы, производители. Обзоры квадрокоптеров. Обзор профессионального квадрокоптера MikroKopter Quadro XL [Электронный ресурс]. – URL: <https://kopterinfo.ru/obzory-kvadrokoptero/kvadrokopter-mikrokopter-quadro-xl.html> (дата обращения: 14.04.2020).
70. Kopterinfo.ru – Квадрокоптеры: обзоры, инструкции, советы, производители. Обзоры квадрокоптеров. Основные характеристики гексакоптера DJI Spreading Wings S900 [Электронный ресурс]. – URL: <https://kopterinfo.ru/obzory-kvadrokoptero/geksakopter-dji-spreading-wings-s900.html> (дата обращения: 14.04.2020).
71. Digi XBee® Zigbee. Embedded ZigBee modules provide OEMs with a simple way to integrate mesh technology into their application [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/xbee-zb-module#docs> (дата обращения: 14.04.2020).
72. Богушевич А.Я. Измерительные комплексы для определения вертикальных профилей метеорологических величин в атмосферном пограничном слое / А.Я. Богушевич, В.А. Корольков, С.А. Кураков, А.Е. Тельминов, А.А. Тихомиров // «Академические Жуковские чтения»: Сборник научных статей по материалам III Всероссийской научно-практической конференции (Воронеж, 25–26 ноября 2015 г.) – Воронеж, 2016. – С. 17–21.
73. Кураков С.А. Автономный измеритель профиля температуры «АИПТ» / С.А. Кураков, В.А. Крутиков, Ю.С. Трофимов, В.Г. Ушаков // «VII Сибирское

- совещание по климато-экологическому мониторингу»: Тезисы Всероссийской конференции (Томск, 8–10 октября 2007 г.). – Томск: Аграф-Пресс, 2007. – С. 401.
74. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть 1. – Л.: Гидрометиздат, 1985. – 301 с.
75. Кураков С.А. Первые результаты комплексного изучения озера Красиловского Алтайского края / С.А. Кураков, В.В. Зуев, Т.А. Бляхарчук, А.В. Дьяченко, С.В. Лойко, И.А. Суторихин, Н.Ф. Харламова, А.П. Шелехов // «X Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу»: Тезисы Всероссийской конференции (Томск, 14 – 17 октября 2013 г.). – Томск: Аграф-Пресс, 2013.
76. Зуев В.В. Сезонная динамика гидрофизических и метеорологических параметров, регистрируемых автоматизированным комплексом на бессточном озере / В.В. Зуев, И.А. Суторихин, С.А. Кураков, У.И. Залаева // «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии»: Труды II Всероссийской научной конференции с международным участием (Барнаул, 25-29 августа 2014 г.): 2 т. – Барнаул, 2014. –Т. II. – С. 109–115.
77. Зуев В.В. Установление и сход снежного покрова в период 2013-2014 на оз. Красиловское / В.В. Зуев, И.А. Суторихин, С.А. Кураков, У.И. Залаева // «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии»: Труды II Всероссийской научной конференции с международным участием (Барнаул, 25-29 августа 2014 г.): 2 т. – Барнаул, 2014. –Т. II. – С. 116–121.
78. Зуев В.В. Измерительный комплекс для регистрации параметров окружающей среды на водном объекте / В.В. Зуев, И.А. Суторихин, А.П. Шелехов, С.А. Кураков, У.И. Залаева // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2. – С. 188–191.
79. Зуев В.В. Автономный измерительный комплекс для оценки и регистрации параметров окружающей среды на водном объекте / В.В. Зуев, И.А. Суторихин, С.А. Кураков, У.И. Залаев // «Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды»: Материалы Всероссийской молодежной научной-практической конференции с международным участием (Барнаул, 1-8 августа 2014 г.) – Барнаул, 2014. – С. 6-9.

80. Зуев В.В. Динамика снеготаяния и изменение уровня бессточного озера / В.В. Зуев, И.А. Суторихин, С.А. Кураков, У.И. Янковская, А.А. Коломейцев // «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов»: Труды Четвертой Всероссийской конференции с международным участием (Москва, 15-18 сентября 2015 г.). – М.: ИВП РАН, 2015. – С. 116–118.
81. Зуев В.В. Автоматизированный измерительный комплекс для мониторинга гидрофизических параметров / В.В. Зуев, И.А. Суторихин, С.А. Кураков, У.И. Янковская // «Аэрозоли Сибири»: Материалы XXI Рабочей группы (Томск, 25-28 ноября 2014 г.). – Томск: Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 2014. – С. 70.
82. Зуев В.В. Определение эффективной площади водосбора на бессточном озере в период половодья / В.В. Зуев, И.А. Суторихин, У.И. Янковская, С.А. Кураков // «XI Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу»: Тезисы Всероссийской конференции (Томск, 21-23 сентября 2015 г.). – Томск: ИМКЭС СО РАН, 2015. – С. 28–29.
83. Blyakharchuk T. Complex paleolimnological and hydrometeorological investigation of Krasolovskoe lake / T. Blyakharchuk, V. Zuev, S. Kurakov, S. Loiko, I. Sutorikhin, N. Kharlamova, A. Shelekhov, P. Blyakharchuk // «Paleolimnology of Northern Eurasia»: Proceedings of the International Conference (Petrozavodsk, 21–25 September 2014). – Petrozavodsk: Karelian. Research Centre RAS, 2014. – P. 12–14.
84. Лузгин Б.Н. Происхождение Красиловского озера // Известия Алтайского государственного университета. Сер. Химия, география, биология. – 1998. – № 4 (9). – С. 113–116.
85. Климова О.В. Влияние климата на гидрологические и гидрохимические процессы рек Горного Алтая / О.В. Климова, В.А. Семенов, И.В. Семенова, Т.В. Большух, Е.Н. Авдюшкина, Р.А. Аванесян, Д.О. Куспаков, Е.Г. Каткова // SWorld «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2011»: Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции (Одесса, 4-15 октября 2011 г.). – Одесса: Черноморье, 2011. – Т. 1. – С. 92–96.

86. Базаров А.В. Комплексные атмосферно-почвенные измерения как инструмент рационального природопользования / А.В. Базаров, С.А. Кураков, Б.Н. Гончиков, П.Н. Дагуров, А.К. Балтухаев, Ю.Б. Цыбенков // «Земельные и водные ресурсы: мониторинг эколого-экономического состояния и модели управления»: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию Института землеустройства, кадастров и мелиорации (Улан-Уде, 23-25 апреля 2015 г.) – Улан-Удэ: Издательство БГСХА им. В.Р. Филиппова. – 2015. – С. 169–173.
87. Базаров А.В. Измерительный комплекс для автоматического долговременного контроля атмосферных и почвенных климатических параметров / А.В. Базаров, Н.Б. Бадмаев, С.А. Кураков, Б.Н. Гончиков, Ю.Б. Цыбенков, А.И. Куликов // Приборы и техника эксперимента. – 2016. – № 4. – С. 158–159.
88. Булдаков А.В. Дистанционная автоматическая метеорологическая станция / А.В. Булдаков, И.И. Ипполитов, А.И. Комаров, С.А. Кураков, С. В. Смирнов // «V Сибирское совещание по климатологическому мониторингу»: Материалы Всероссийской конференции (Томск, 25-27 июня 2003 г.). – Томск, 2003. – С. 165–168.
89. Кураков С.А.. Автономная информационно-измерительная системы мониторинга биоклиматических характеристик состояния окружающей среды / В.И. Галкин, В.А. Крутиков, С.А. Кураков, В.Г. Ушаков, Ю.С. Трофимов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – Т. 18., № 12. – С. 150–151.
90. Гончиков Б.Н. О предварительных результатах оценки гидротермического режима чернозема квазиглеевого мерзлотного в западном Забайкалье / Б.Н. Гончиков, Н.Б. Бадмаев, А.И. Куликов, А.В. Базаров, С. А. Кураков, Ю.Б. Цыбенков, А.Ц. Мангатаев // «Почвы холодных областей: генезис, география, экология» (к 100-летию со дня рождения профессора О. В. Макеева): Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Улан-Удэ, 31 августа – 09 сентября 2015 г.). – Улан-Удэ: Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2015. – С. 65–67.

91. Дюкарев Е.А., Кураков С.А. Определение тепловых свойств почвы с использованием автономного измерителя профиля температуры почвы // «IX Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу»: Тезисы Всероссийской конференции (Томск, 3–6 октября 2011 г.). – Томск, 2011. – С. 301–303.
92. Золотов С.Ю. Автоматизированная метеорологическая информационно-измерительная система геофизической обсерватории / С.Ю. Золотов, С.А. Кураков, С.В. Смирнов. // «IX Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу»: Тезисы Всероссийской конференции (Томск, 3–6 октября 2011 г.). – Томск, 2011. – С. 349–351.
93. Золотов С.Ю. Информационно-вычислительная система дистанционной автоматической метеорологической станции / С.Ю. Золотов, И.И. Ипполитов, С.А. Кураков, Н.О. Костарева, С.В. Смирнов, В.Г. Ушаков // «Контроль и реабилитация окружающей среды»: Материалы IV международного симпозиума (Томск, 21–23 июля 2004 г.) – Томск, 2004. – С. 87–88.
94. Зуев В.В. Мониторинг гидрологических данных в весенний период на горном водосборе / В.В. Зуев, С.А. Кураков, И.А. Суторихин, А.А. Синельников // «Измерение, контроль, информатизация»: Материалы XVII Международной научно-практической конференции (Барнаул, 19 мая 2016 г.). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. – С. 98–101.
95. Зуев В.В. Комплексный мониторинг погодного-климатического и гидрологического режима бассейна р. Майма (Горный Алтай): первые результаты / В.В. Зуев, С.А. Кураков, В.А. Уйманова // Ползуновский вестник. – 2017. – № 3. – С. 70–75.
96. Зуев В.В. Сравнительный анализ гидрометеорологических наблюдений Росгидромета и Автономного комплекса «Майма» в бассейне реки Майма (Горный Алтай) / В.В. Зуев, Е.М. Короткова, В.А. Уйманова, С.А. Кураков // Водное хозяйство России. – 2018. – № 5. – С. 65–74.
97. Корольков В.А. Динамика метеорологических и атмосферно-электрических параметров приземной атмосферы при прохождении мощной конвективной

- облачности летом в Северной Хакасии / В.А. Корольков, С.А. Кураков, К.Н. Пустовалов, П.М. Нагорский // «ENVIROMIS-2016»: Материалы Международной конференции по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды (Томск, 11–16 июля 2016 г.) – Томск, 2016. – С. 321–324.
98. Кураков С.А. Autonomous profile thermometer / С.А. Кураков, В.А. Крутиков, В.Г. Ушаков // «ENVIROMIS»: Материалы Международной конференции (Томск, 28 июня – 5 июля 2008 г.). – Томск. – С. 118.
99. Кураков С.А. Автономный измеритель профиля температуры АИПТ / С.А. Кураков, В.А. Крутиков, В.Г. Ушаков // Приборы и техника эксперимента, – 2008. – № 5. – С. 166–167.
100. Кураков С.А. Разработка автономной информационно-измерительной системы мониторинга характеристик состояния окружающей среды / С.А. Кураков, В.А. Крутиков, Ю.С. Трофимов, В.Г. Ушаков, В.И. Галкин // «VIII Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу»: Тезисы Всероссийской конференции (Томск, 8–10 октября 2009 г.) – Томск: Аграф-Пресс, 2013. – С. 408.
101. Кураков С.А. Система комплексного климато-экологического мониторинга Большого Васюганского болота / С.А. Кураков, В.В. Зуев, С.В. Смирнов // «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов»: Материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием (Барнаул, 24–28 авг. 2010 г.). – Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. – С. 376.
102. Кураков С.А. Возможности применения современных технологий для изучения закономерностей формирования речного стока / С.А. Кураков, Н.В. Кичигина, А.С. Соколов // «Реки Сибири и Дальнего Востока»: Материалы VIII Международной научно-практической конференции (Иркутск, 6-7 июня 2013 г.). – Иркутск: ИРОО «Байкальская Экологическая Волна», 2013. – С. 54–56
103. Кураков С.А. Атмосферно-почвенный измерительный комплекс (АПИК) для мониторинга основных параметров атмосферы и почвы // «X Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу»: Тезисы Всероссийской

- конференции (Томск, 14 – 17 октября 2013 г.). – Томск: Аграф-Пресс, 2013. – С. 79–80.
104. Кураков С.А. Измерительный комплекс для регистрации метеорологических и гидрофизических параметров / С.А. Кураков, В.В. Зуев, И.А. Суторихин, А.В. Дьяченко // «Проблемы информатизации региона (ПИР-2013)»: Материалы Всероссийской конференции (Красноярск, 19-20 ноября 2013 г.). – Красноярск, 2013. – С. 278–281.
105. Кураков С.А. Мобильный измерительный комплекс для сопряженного контроля атмосферных и почвенных метеопараметров / А.В. Базаров, Н.Б. Бадмаев, С.А. Кураков, Б.-М.Н. Гончиков // Метеорология и гидрология. – № 4. – 2018. – С. 104-109.
106. Суторихин И.А. База данных автономных измерительных комплексов, установленных на горном водосборе / И.А. Суторихин, А.А. Синельников, С.А. Кураков, О.А. Ельчининова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 2, – С.102–104.
107. Kurakov S.A. Mobile Measurement System for the Coupled Monitoring of Atmospheric and Soil Parameters // A.V. Bazarov, N.B. Badmaev, S.A. Kurakov, and B.-M.N. Gonchikov // Russian Meteorology and Hydrology. – V. 43, No. 4. – 2018. – P. 271–275.
108. Кураков С.А. Зуев В.В., Суторихин И.А., Кураков С.А., Янковская У.И., Коломейцев А.А. Динамика снеготаяния и изменение уровня бессточного озера. / В.В. Зуев, И.А. Суторихин, С.А. Кураков, У.И. Янковская, А.А. Коломейцев // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Труды Четвертой Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 15-18 сентября 2015 г. ИВП РАН отв. ред. Болгов М.В.-Москва: ИВП РАН, 2015. С. 116-118.
109. Кураков С.А. Дифференциальные измерители уровня болотных вод / Е.А. Дюкарев, С.А. Кураков, Ю.А. Харанжевская // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: Материалы Третьей международной научно-практической конференции (27 сентября — 3 октября

- 2015 года, г. Томск, Россия). - Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», - 2015. - С. 72-75.
110. Kiselev M.V., Voropay N.N., Dyukarev E.A., Kurakov S.A., Kurakova P.S., Makeev E.A. Automatic meteorological measuring systems for microclimate monitoring // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. 190 012031 doi: 10.1088/1755-1315/190/1/012031 <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/190/1/012031>
111. Кураков С.А. Определение характеристик снежного покрова с помощью автоматических измерителей температуры / Е.А. Дюкарев, Е.А. Макеев, С.А. Кураков // Тезисы докладов всероссийской конференции «Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий», 24-29 сентября 2018 г., Сочи, 2018. – С.87.
112. Кураков С.А. Приборы и комплексы ИМКЭС СО РАН для метеорологического мониторинга / С.А. Кураков, В.А. Корольков // Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации: Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции (14 – 15 марта 2019 г.) – СПб.: РГГМУ, 2019. – С.470 – 472.
113. Dyukarev E., Godovnikov E., Karpov D., Kurakov S., Lapshina E., Filippov I., Filippova N., Zarov E. Net Ecosystem Exchange, Gross Primary Production And Ecosystem Respiration In Ridge-Hollow Complex At Mukhrino Bog // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY 2019 Vol.12, No 2, p. 227-244. doi:10.24057/2071-9388-2018-77 <https://ges.rgo.ru/jour/article/view/749>.
114. Отчет о ПНИ «Разработка измерительно-вычислительной системы для реализации технологии мезомасштабного мониторинга и прогнозирования атмосферного пограничного слоя» (промежуточный) этап 3 / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН; рук. Тихомиров А.А. – Томск. – 2015. Часть 1. – 351 с. № ГР 114102740064.
115. Пат. 80557 Российская Федерация, МПК (2006.01) G01D1/02, G01H11/08.

- Регистратор электромагнитных и акустических сигналов / Беспалько А.А., Хорсов Н.Н., Федотов П.И., Кураков С.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский политехнический университет. - № 2008134233/22; заявл. 20.08.2008; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 4.
116. Kurakov S.A. Automatic meteorological measuring system for microclimate monitoring / M.V. Kiselev, N.N. Voropay, E.A. Dyukarev, S.A. Kurakov, P.S. Kurakova, E.A. Makeev // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. First International Geographical Conference of North Asian Countries “China-Mongolia-Russia Economic Corridor: Geographical and Environmental Factor and Territorial Development Opportunities” 20-26 August 2018, Irkutsk, Russia. – 2018. V. 190. 012031. doi: 10.1088/1755-1315/190/1/012031.
117. Kurakov S.A. Net ecosystem exchange, gross primary production and ecosystem respiration in ridge-hollow complex at Mukhrino bog / E.A. Dyukarev, E.A. Godovikov, D.V. Karpov, E.D. Lapshina, I.V. Filippov, N.V. Filippova, E.A. Zarov, S.A. Kurakov // Geography, Environment, Sustainability. – 2019. – V. 12. – No 2. P. 227-244.
118. Кураков С.А. Программное обеспечение для расчёта эффективной температуропроводности снега по данным автоматических измерений профиля температуры / Е.А. Макеев, Е.А. Дюкарев, С.А. Кураков // Тринадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу: Тезисы докладов российской конференции. / Под ред. М. В. Кабанова. – Томск: ООО «Офсет центр», 2019. с. 277-278.

Приложение А
Копии полученных патентов

1. Патент № 80577
2. Патент № 2542598
3. Патент № 2600519
4. Патент №. 2606346
5. Патент № 2613907
6. Патент № 2616352
7. Патент № 2617020
8. Патент № 2617146
9. Патент № 2650094
10. Патент № 2658552



(51) МПК

G01D 1/02 (2006.01)

G01H 11/08 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ (титульный лист)

(21), (22) Заявка: 2008134233/22, 20.08.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.08.2008

(45) Опубликовано: 10.02.2009 Бюл. № 4

Адрес для переписки:

634050, г.Томск, пр. Ленина, 30, ТПУ, отдел
интеллектуальной и промышленной
собственности

(72) Автор(ы):

Беспалько Анатолий Алексеевич (RU),
Хорсов Николай Николаевич (RU),
Федотов Павел Иванович (RU),
Кураков Сергей Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Томский политехнический университет (RU)

(54) РЕГИСТРАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

(57) Формула полезной модели

Регистратор электромагнитных и акустических сигналов, содержащий предварительный усилитель, фильтры верхних и нижних частот, отличающийся тем, что два емкостных и два индукционных приемника связаны со своими повторителями, соединенными соответственно с двумя дифференциальными усилителями, которые подключены к коммутатору, к которому подсоединены три полосовых фильтра и фильтр верхних и нижних частот, которые связаны со своими регулируемыми усилителями, к которым подключены усреднители, связанные с микроконтроллером, при этом четвертый регулируемый усилитель подключен к компаратору, который соединен с микроконтроллером и счетчиком, связанным с микроконтроллером, причем акустический приемник связан со своим повторителем, который подключен ко второму фильтру верхних и нижних частот, который связан со своим регулируемым усилителем, подключенным к усреднителю, соединенному с микроконтроллером, который связан с коммутатором, со всеми регулируемыми усилителями, с запоминающим устройством, интерфейсом связи, дисплеем, клавиатурой и блоком реального времени.

RU 80557 U1

RU 80557 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2542598

ДАТЧИК ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН) (RU)*

Автор(ы): *Кураков Сергей Анатольевич (RU)*

Заявка № 2013136310

Приоритет изобретения **01 августа 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **22 января 2015 г.**

Срок действия патента истекает **01 августа 2033 г.**

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2600519

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСРЕДНЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ
СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН) (RU)*

Автор(ы): *Кураков Сергей Анатольевич (RU)*

Заявка № 2015136211

Приоритет изобретения **26 августа 2015 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **29 сентября 2016 г.**

Срок действия патента истекает **26 августа 2035 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2606346

Автоматический регистратор таяния ледников Куракова

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН) (RU)*

Авторы: *Кураков Сергей Анатольевич (RU), Куракова Полина Сергеевна (RU), Куракова Ольга Алексеевна (RU)*

Заявка № 2015154925

Приоритет изобретения 21 декабря 2015 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 10 января 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 21 декабря 2035 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2613907

Способ осуществления мониторинга за параметрами почвы

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН) (RU)*

Автор: *Кураков Сергей Анатольевич (RU)*

Заявка № 2015139182

Приоритет изобретения 14 сентября 2015 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 21 марта 2017 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 14 сентября 2035 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2616352

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСРЕДНЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ
СОСТАВЛЯЮЩИХ СКОРОСТИ ВЕТРА И ЕГО
НАПРАВЛЕНИЯ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (RU)*

Авторы: *Кураков Сергей Анатольевич (RU), Куракова Полина Сергеевна (RU), Куракова Ольга Алексеевна (RU)*

Заявка № 2016107560

Приоритет изобретения 01 марта 2016 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 14 апреля 2017 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 01 марта 2036 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Иевлев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2617020

Способ определения усредненного вектора скорости ветра

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (RU)*

Авторы: *Кураков Сергей Анатольевич (RU), Куракова Полина Сергеевна (RU), Куракова Ольга Алексеевна (RU)*

Заявка № 2016117531

Приоритет изобретения 04 мая 2016 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 19 апреля 2017 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 04 мая 2036 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2617146

**Датчик уровня высоты снежного покрова для оценки
лавиной опасности**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН) (RU)*

Автор: *Кураков Сергей Анатольевич (RU)*

Заявка № 2015144845

Приоритет изобретения 19 октября 2015 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 21 апреля 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 19 октября 2035 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2650094

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСРЕДНЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ
СОСТАВЛЯЮЩИХ СКОРОСТИ ВЕТРА И ЕГО
НАПРАВЛЕНИЯ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (RU)*

Авторы: *Кураков Сергей Анатольевич (RU), Куракова Полина Сергеевна (RU), Куракова Ольга Алексеевна (RU)*

Заявка № 2016119943

Приоритет изобретения 23 мая 2016 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 06 апреля 2018 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 23 мая 2036 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2658552

**Устройство для измерения вертикального профиля
температуры среды**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения (ИМКЭС СО РАН) (RU)*

Авторы: *Кураков Сергей Анатольевич (RU), Куракова Полина Сергеевна (RU), Ушаков Владимир Геннадьевич (RU), Макеев Евгений Александрович (RU), Дьячков Александр Владимирович (RU), Жуйков Константин Леонидович (RU), Сидоркина Елена Вячеславовна (RU)*

Заявка № 2017128070

Приоритет изобретения 06 июня 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 21 июня 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 06 июня 2037 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



Приложение Б
Проект руководства по эксплуатации ПЭМС-БЦЛА

Проект

Экспериментальный образец
портативная автоматическая электронная метеостанция
ЭО ПЭМС-БЦЛА

Руководство по эксплуатации
АМЯ2.702.109 РЭ

Зав. №

Томск
2015

Приложение В

Копия Акта испытаний экспериментального образца ПЭМС-БПЛА

СОГЛАСОВАНО:

Директор ООО «Сибаналитприбор»

А.А.Азбукин

« 27 » ноября

2015 г.

**УТВЕРЖДАЮ:**

Зам. директора ИМКЭС СО РАН по НР

В.А.Корольков

« 27 » ноября

2015 г.

**АКТ**

ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ПОРТАТИВНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ ЭО ПЭМС-БПЛА

Комиссия в составе:

Председатель	зам. директора ИМКЭС СО РАН по НР	Корольков В.А.
Зам. председателя	зав. ЛЭП	Тихомиров А.А.
Секретарь комиссии	нс ЛЭП	Тельминов А.Е.
Члены комиссии	вед. инж. ЛЭП	Мягков А.С.
	нс ЛГИТ	Кураков С.А.
	гл. метролог	Чурсин В.А.
	директор ООО «Сибаналитприбор»	Азбукин А.А.
	вед. констр. ООО «Сибаналитприбор»	Князев В.В.
	президент ООО "УМИУМ"	Фомин Д.А.

назначенная приказом по ИМКЭС СО РАН от 22 октября 2015 г. № 114/ахд, в период с 18 по 27 ноября 2015 г. провела лабораторные испытания экспериментального образца портативной автоматической электронной метеостанции ЭО ПЭМС-БПЛА АМЯ2.702.109 (далее – ЭО ПЭМС-БПЛА), по результатам которых составлен настоящий акт.

1. На испытания были представлены два экземпляра ЭО ПЭМС-БПЛА зав. №№ 15.001 и 15.002, изготовленные ООО «Умиум» и предназначенные для измерения и передачи в центр сбора и обработки вертикальных атмосферных профилей метеовеличин, в сопровождении ЧТЗ, комплекта эскизной КД и Программы и методики лабораторных испытаний.

2. Испытания проводились в испытательном комплексе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук.

3. Программа испытаний осуществлялась с определением следующих характеристик ЭО ПЭМС-БПЛА:

- 3.1 Погрешность измерения температуры воздуха – не более $\pm 0,2$ °С.
- 3.2 Погрешность измерения влажности воздуха – не более $\pm 2,5\%$.
- 3.3 Погрешность измерения атмосферного давления – не более $\pm 0,5$ мм.рт.ст.
- 3.4 Время работы от штатных элементов питания – не менее 2 часов.
- 3.5 Работы режима осреднения данных – 3 с...20 мин.
- 3.6 Дальность передачи данных по радиоканалу – не менее 700 м.

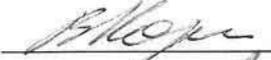
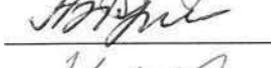
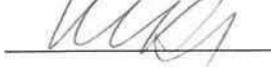
4. Ознакомившись с представленными ЭО ПЭМС-БПЛА зав. №№ 15.001 и 15.002 и рассмотрев техническую документацию, комиссия признала предъявленные материалы достаточными, а ЭО ПЭМС-БПЛА зав. №№ 15.001 и 15.002 пригодными для проведения лабораторных испытаний.

5. В соответствии с программой, утвержденной в установленном порядке, были проведены лабораторные испытания ЭО ПЭМС-БПЛА зав. №№ 15.001 и 15.002, по результатам которых 27 ноября 2015 г. были составлены Протоколы лабораторных испытаний ЭО ПЭМС-

БПЛА №№ 15.001 и 15.002.

6. В результате проведенных испытаний комиссия установила, что ЭО ПЭМС-БПЛА №№ 15.001 и 15.002 соответствуют требованиям п.п. 3.1 и 3.2.2 ТЗ и п. 2 АМЯ2.702.109 ПМ.

Подписи членов комиссии:

	Корольков В.А.
	Тихомиров А.А.
	Тельминов А.Е.
	Мягков А.С.
	Кураков С.А.
	Чурсин В.А.
	Азбукин А.А.
	Князев В.В.
	Фомин Д.А.

ПРОТОКОЛ
лабораторных испытаний по пп.7.1-7.7
 Программы и методики лабораторных испытаний
 АМЯ2.702.109 ПМ

№ 1

27 ноября 2015 г.

1. Объект испытания: *Портативная автоматическая электронная метеостанция ЭО ПЭМС-БПЛА* в количестве 1 шт., № 15.001.

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта ТЗ и ПМИ.

3. Дата начала испытания: 18 ноября 2015 г.

4. Дата окончания испытания: 27 ноября 2015 г.

5. Место проведения испытания: г. Томск испытательный комплекс ИМКЭС СО РАН.

6. Средства проведения испытаний

Эталонный термометр сопротивления платиновый 3-го разряда зав.№ 694, 693, поверен до 15.12.2015, Многоканальный прецизионный измеритель/регулятор температуры МИТ8.10 зав.№ 976, поверен до 11.12.2015, Термогигрометр «Ива-6Б» с датчиком ДВ2ТСМ-3Т-2П-Б, зав.№ 8932, поверен до 11.06.2016, Барометр образцовый БОП-1М-1 зав.№ 1014771, поверен до 22.12.2015, Камера тепла, холода и влаги КТХВ – 1000 зав.№ 141203, аттестация до 05.05.2016, Термобарокамера ТВV-1000 зав.№ , аттестация до 10.12.2016.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов		Требования к параметру	Данные испытаний	Дата	Прим.
		Технического задания	Программы и методики испытаний	Номинальное значение			
Проверка соответствия изделия КД		3.1, 4.1	7.1		Соотв.	19.11.2015	
Температура воздуха	°С	3.2.2.1	7.2	Не более $\pm 0,2$ °С при $T_{изм} \leq + 30$ °С и $\pm 0,3$ °С при $T_{изм} > + 30$ °С.	0,12	23.11.2015	
Влажность воздуха	%	3.2.2.1	7.3	не более $\pm 2,5\%$ при $T > 0$ °С, $\pm 5\%$ при $T < 0$ °С	2,1%	25.11.2015	
Атмосферное давление	мм.рт.с т.	3.2.2.1	7.4	$\pm 0,5$	0,35	27.11.2015	
Проверка времени работы от штатных элементов питания	час	3.2.1.6	7.5	2	2		

Проверка работы режима осреднения данных	сек.	3.2.2.2	7.6		Соотв.		
Проверка дальности передачи данных по радиоканалу	м.	3.2.2.2	7.7		Соотв.		

8 Выводы

8.1 Объект испытания ЭО ПЭМС-БПЛА № 15.001 выдержал испытание.

8.2 Объект испытания ЭО ПЭМС-БПЛА № 15.001 соответствует требованиям Технического задания.

Испытание проводили

зам. директора по НР

зав. ЛЭП

нс ЛЭП

вед. инж. ЛЭП

нс ЛГИТ

гл. метролог

директор ООО "Сибаналитприбор"

вед. констр. ООО "Сибаналитприбор"

президент ООО "УМИУМ"

 Корольков В.А.
 Тихомиров А.А.
 Тельминов А.Е.
 Мягков А.С.
 Кураков С.А.
 Чурсин В.А.
 Азбукин А.А.
 Князев В.В.,
 Фомин Д.А.,

ПРОТОКОЛ
лабораторных испытаний по пп. 7.1-7.7
 Программы и методики лабораторных испытаний
 АМЯ2.702.109 ПМ

№ 2

27 ноября 2015 г.

- 1. Объект испытания:** Портативная автоматическая электронная метеостанция ЭО ПЭМС-БПЛА в количестве 1 шт., № 15.002.
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта ТЗ и ПМИ.
- 3. Дата начала испытания:** 18 ноября 2015 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 27 ноября 2015 г.
- 5. Место проведения испытания:** г. Томск испытательный комплекс ИМКЭС СО РАН.
- 6. Средства проведения испытаний**

Эталонный термометр сопротивления платиновый 3-го разряда зав.№ 694, 693, поверен до 15.12.2015, Многоканальный прецизионный измеритель/регулятор температуры МИТ8.10 зав.№ 976, поверен до 11.12.2015, Термогигрометр «Ива-6Б» с датчиком ДВ2ТСМ-3Т-2П-Б, зав.№ 8932, поверен до 11.06.2016, Барометр образцовый БОП-1М-1 зав.№ 1014771, поверен до 22.12.2015, Камера тепла, холода и влаги КТХВ – 1000 зав.№ 141203, аттестация до 05.05.2016, Термобарокамера ТВV-1000 зав.№ , аттестация до 10.12.2016.

7. Результаты испытания

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов		Требования к параметру	Данные испытаний	Дата	Прим.
		Технического задания	Программы и методики испытаний	Номинальное значение			
Проверка соответствия изделия КД		3.1, 4.1	7.1		Соотв.	19.11.2015	
Температура воздуха	°С	3.2.2.1	7.2	Не более $\pm 0,2$ °С при $T_{\text{изм}} \leq + 30$ °С и $\pm 0,3$ °С при $T_{\text{изм}} > + 30$ °С.	0,15	23.11.2015	
Влажность воздуха	%	3.2.2.1	7.3	не более $\pm 2,5\%$ при $T > 0$ °С, $\pm 5\%$ при $T < 0$ °С	2,3%	25.11.2015	
Атмосферное давление	мм.рт.с т.	3.2.2.1	7.4	$\pm 0,5$	0,38	27.11.2015	
Проверка времени работы от штатных элементов питания	час	3.2.1.6	7.5	2	2		
Проверка работы	сек.	3.2.2.2	7.6		Соотв.		

режима осреднения данных							
Проверка дальности передачи данных по радиоканалу	м.	3.2.2.2	7.7		Соотв.		

8 Выводы

8.1 Объект испытания ЭО ПЭМС-БПЛА № 15.002 выдержал испытание.

8.2 Объект испытания ЭО ПЭМС-БПЛА № 15.002 соответствует требованиям Технического задания.

Испытание проводили

зам. директора по НР

зав. ЛЭП

нс ЛЭП

вед. инж. ЛЭП

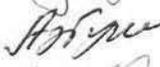
нс ЛГИТ

гл. метролог

директор ООО "Сибаналитприбор"

вед. констр. ООО "Сибаналитприбор"

президент ООО "УМИУМ"

 Корольков В.А.
 Тихомиров А.А.
 Тельминов А.Е.
 Мягков А.С.
 Кураков С.А.
 Чурсин В.А.
 Азбукин А.А.
 Князев В.В.,
 Фомин Д.А.,

Приложение Г

Акты внедрения диссертационной работы

1. Справка о внедрении результатов диссертационной работы от ИГ СО РАН
2. Справка о внедрении результатов диссертационной работы от ФГБУ «Заповедное Подлеморье»
3. Справка о внедрении результатов диссертационной работы от НИИ биологии и биофизики ТГУ
4. Справка о внедрении результатов диссертационной работы от ООО «Сибаналитприбор»
5. Справка о внедрении результатов диссертационной работы от ИМЗ СО РАН
6. Справка о внедрении результатов диссертационной работы от АлтГУ
7. Справка о внедрении результатов диссертационной работы от ИВЭП СО РАН



ФАНО РОССИИ
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
им. В.Б. Сочавы

Сибирского отделения
Российской академии наук
(ИГ СО РАН)

Улан-Баторская ул., д. 1
Иркутск, 664033
Тел. (3952) 42-69-20
Факс (3952) 42-27-17

E-mail: postman@irigs.irk.ru

ОКПО 03533731, ОГРН 1023801757220

ИНН/КПП 3812011724/381201001

24.05.2018 № 15355.05.2141.151

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ИГ СО РАН, к.г.н.

2

мая 2018 г.

И.Н.Владимиров

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы научного сотрудника ИМКЭС СО РАН Сергея Анатольевича Куракова «Автономные измерительные комплексы для контроля природной среды на труднодоступных территориях», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Созданные научным сотрудником ИМКЭС СО РАН С.А. Кураковым атмосферно-почвенные измерительные комплексы (АПИК) различной комплектации (23 штуки), полученные Институтом географии им. В.Б.Сочавы в рамках Приборной программы СО РАН «Импортозамещение» (2011 – 2013 гг.) установлены на территории юго-западного Прибайкалья, Приольхонья, Забайкалья. С их помощью проводится мониторинг основных метеорологических и гидрологических характеристик. Разработка указанных измерительных комплексов является актуальной задачей, в связи с необходимостью использования автоматического оборудования для получения непрерывной круглогодичной информации о гидроклиматическом режиме природных объектов. Полученные с помощью АПИК результаты исследований используются в НИР ИГ СО РАН.

Зав.лаб. гидрологии и климатологии
ИГ СО РАН, к.г.н.

О.В.Гагаринова

Зав.лаб. геоморфологии
ИГ СО РАН, к.г.н.

Д.В.Кобылкин

00 05317

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ



СБЕДИНЕННАЯ
ДИРЕКЦИЯ
БАРГУЗИНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ПРИРОДНОГО
БИОСФЕРНОГО
ЗАПОВЕДНИКА
И ЗАБАЙКАЛСКОГО
НАЦИОНАЛЬНОГО
ПАРКА

671623 Республика Бурятия, Баргузинский р-он,
Пос. Усть-Баргузин, пер. Больничный, 11,
+7(30131) 92 170 / 91 575/91578
www.npzabaikalsky.ru
e-mail: zabaikpark@mail.ru

дата 28 октября 2016 г. № 283/2.13

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФГБУ "Заповедное
Подлеморье"



М.Е. Овдин

М.Е. Овдин

28 октября 2016 г.

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы научного сотрудника ИМКЭС СО РАН Сергея Анатольевича Куракова «Автономные измерительные комплексы для контроля природной среды на труднодоступных территориях», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Автоматические метеостанции «М-03» (заводские номера: 30000176 и 30000177), поставленные по договору № 1/10/2014 от «02» октября 2014 г. с ООО «ИнФлай» в лице генерального директора Куракова Сергея Анатольевича, позволили организовать и осуществить круглогодичный мониторинг погодно-климатических условий на высотном экологическом профиле от побережья оз. Байкал до высокогорий Баргузинского хребта (1700 м над ур.м.). Полученные метеорологические сведения используются для оценки и анализа ответов биоты на примере модельных групп – высшие сосудистые растения, насекомые (жужелицы), комплекс наземных птиц и

мелкие млекопитающие (грызуны), на долговременные климатические изменения и особенности текущего года. Наличие сравнительных метеорологических характеристик, полученных с использованием автоматических метеостанций «М-03» на побережье оз. Байкал (п. Давша) и в гольцовом высотном поясе западного макросклона Баргузинского хребта (водораздел р.р. Давша и Правый Таркулик) предоставляет возможность объяснения наблюдаемых на постоянных пробных площадках и маршрутах отклонений в сроках фенологических явлений и ходе сезонной динамики численности модельных групп животных, способствует более эффективному ведению мониторинговых исследований на территории Баргузинского государственного природного биосферного заповедника.

Заместитель директора по научной работе

ФГБУ "Заповедное Подлесье", д.б.н.



А.А. Ананин

УТВЕРЖДАЮ:

Директор
Научно-исследовательского
института биологии и биофизики
Томского государственного
университета



[Signature] С.Н. Воробьев

02 сентября 2016 года

СПРАВКА

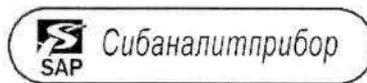
о внедрении результатов диссертационной работы научного сотрудника ИМКЭС СО РАН Сергея Анатольевича Куракова «Автономные измерительные комплексы для контроля природной среды на труднодоступных территориях», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Атмосферно-почвенный измерительный комплекс (АПИК) установлен на научно-исследовательском стационаре «Кайбасово» для наблюдения за состоянием окружающей природной среды. Комплекс позволил получить необходимую информацию для прогнозирования температурного режима почв пойменных экосистем, паводкового режима, а также нерестового периода различных видов рыб в Томской области.

Ученый секретарь НИИ ББ ТГУ

[Signature]

Л.Г. Колесниченко



Общество с ограниченной ответственностью
«Сибирский аналитический прибор»
(ООО «Сибаналитприбор»)

Справка

О внедрении результатов диссертационной работы научного сотрудника ИМКЭС СО РАН Сергея Анатольевича Куракова «Автономные измерительные комплексы для контроля природной среды на труднодоступных территориях», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля веществ, материалов и изделий.

Настоящей справкой подтверждаю, что в ходе выполнения работы «Разработка и создание измерительно-вычислительной системы для реализации технологии мезомасштабного мониторинга и прогнозирования состояния атмосферного пограничного слоя» ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2016 годы" (Соглашение № 14.607.21.0030, уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI60714X0030) Кураков С.А. разработал и изготовил портативную автоматическую электронную метеостанцию для установки на беспилотный летательный аппарат (ПЭМС-БПЛА) и датчик приповерхностной температуры воздуха (ДПТ), входящий в состав двухуровневого ультразвукового метеорологического комплекса (ЭО ДУМК), предназначенного для определения типа стратификации и вертикальных профилей метеорологических характеристик пограничного слоя атмосферы в режиме реального времени.

Директор ООО «Сибаналитприбор»



Азбукин А. А.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИМЗ СО РАН,

д.г.-м.н., профессор

Железняк М.Н.

« 03 » февраля 2017 г.

Справка

о внедрении результатов диссертационной работы научного сотрудника ИМКЭС СО РАН Сергея Анатольевича Куракова «Автономные измерительные комплексы для гидрометеорологического мониторинга», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля веществ, материалов и изделий.

Настоящей справкой подтверждаю, что выполненные в рамках диссертационной работы Куракова С.А. исследования и их практическая реализация в виде созданного атмосферно-почвенного измерительного комплекса (АПИК), используются для сбора данных долговременного мониторинга на водных объектах и водосборах стационара «Игарка» ИМЗ СО РАН. Получаемые данные используются для выполнения работ в рамках госбюджетного проекта СО РАН «Комплексные исследования динамики природных и техногенных ландшафтов криолитозоны Восточной Сибири» (№0380-2016-0002).

Предложенные диссертантом методы измерения и регистрации гидрофизических и метеорологических параметров позволяют накопление рядов гидрометеорологических показателей, характеризующих протекание процессов формирования речного стока в прерывистой криолитозоне Енисейского Севера.

Вед.н.с. лаборатории подземных
вод и геохимии криолитозоны
ИМЗ СО РАН, к.г.н.



Тананаев Н.И.

«УТВЕРЖДАЮ»



Протокол № 10 от 28 октября 2016 г. Директора по НИР АлтГУ, к.г.н.

Е.С. Попов

"28" октября 2016 г.

Справка

о внедрении результатов диссертационной работы научного сотрудника ИМКЭС СО РАН Сергея Александровича Куракова «Автономные измерительные комплексы для гидрометеорологического мониторинга» представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Настоящей справкой подтверждаем, что полученные в рамках диссертационной работы Сергея Александровича Куракова «Автономные измерительные комплексы для гидрометеорологического мониторинга», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды веществ, материалов и изделий» результаты исследования в форме созданного автором атмосферно-почвенного измерительного комплекса, позволившего получить банка данных мониторинга гидрофизических и метеорологических параметров за период 2012-2016 гг., используются при написании выпускных квалификационных работ бакалавров и магистерских диссертаций студентов географического и физико-технического факультетов Алтайского государственного университета (г. Барнаул). Технические характеристики созданного прибора как пример специализированного инновационного оборудования, и методика наблюдений используются при чтении учебных курсов «Прикладная климатология», «Современные технологии оценки гидроклиматических ресурсов» для бакалавров по направлениям 05.04.03 и 05.04.02 «География».

Предложенные диссертантом прибор, методы измерения и регистрации метеорологических параметров, высоты снежного покрова и уровня воды в озере показали эффективную работу и высокую точностью, необходимые для осуществления мониторинга природных объектах (на примере акватории оз. Красиловского).

И.о. зав. лабораторией
мониторинга геосферно-
биосферных процессов, к.г.н.



Н.Ф. Харламова



«УТВЕРЖДАЮ»

ВРИО директора ИВЭП СО РАН,

д.б.н., профессор

А.В. Пузанов

"_25_" октября 2016 г.

Справка

о внедрении результатов диссертационной работы научного сотрудника ИМКЭС СО РАН Сергея Анатольевича Куракова «Автономные измерительные комплексы для гидрометеорологического мониторинга», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13. Приборы и методы контроля веществ, материалов и изделий

Настоящей справкой подтверждаю, что выполненные в рамках диссертационной работы Куракова С.А. исследования и их практическая реализация в виде созданного атмосферно-почвенного измерительного комплекса (АПИК) и данных долговременного мониторинга гидрофизических и метеорологических параметров на озере Красиловском Алтайского края используются в части выполнения госбюджетного проекта СО РАН №0383-2014-0006 «Разработка информационно-аналитического обеспечения для исследования водно-экологических процессов в водоемах, водотоках и водосборах Сибири».

Предложенные диссертантом методы измерения и регистрации высоты снежного покрова, уровня жидких осадков и воды в озере, метеопараметров показали необходимое быстроедействие, эффективную работу и позволили с высокой степенью надежности в течении длительного времени автономно регистрировать протекания водно-экологических процессов на озерах и их водосборных территориях.

Научный руководитель проекта,
г.н.с. лаборатории гидрологии и
геоинформатики ИВЭП СО
РАН, д.ф.-м.н., профессор

И.А. Суторихин