

УДК 004.2

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2023-11-6-99-108>



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Об архитектуре распределенной геоинформационной технологии мониторинга снежного покрова, функционирующей в обстоятельствах ограниченной телекоммуникационной доступности

Ю.В. Бельшева[®],
Д.Д. Сутягин,
Э.С. Зимина

Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, 105064 Россия

[®] Автор для переписки, e-mail: meteoinfo@list.ru

Резюме

Цель. Снежный покров оказывает комплексное многофакторное влияние на окружающую среду, являясь связующим звеном между глобальными климатическими процессами и системой земной поверхности. Мониторинг снежного покрова является одной из ключевых задач гидрометеорологии, в рамках которого проводится систематический регулярный сбор его показателей. Целью работы является разработка архитектуры геоинформационной технологии мониторинга снежного покрова, комплексно решающей проблему автоматизации сбора показателей снежного покрова и их дальнейшего сопровождения, а также расширяемой для других задач гидрометеорологического мониторинга.

Методы. Используется метод анализа существующей фундаментальной базы в области сбора данных снежного покрова, а также метод системного подхода при описании архитектуры распределенной геоинформационной технологии.

Результаты. Разработана архитектура распределенной геоинформационной технологии, ориентированная на мониторинг снежного покрова, от выполнения измерений, агрегации данных и их валидации до их передачи в централизованную систему обработки. Разработан прототип модулей носимого пользовательского терминала, позволяющий провести апробацию данной технологии.

Выводы. Предложенная архитектура способна функционировать в обстоятельствах ограниченной телекоммуникационной доступности, а также обеспечивать контроль целостности данных и персонализацию ответственности за их получение путем введения электронной подписи каждого сеанса измерений. Данная архитектура может быть расширена путем разработки и внедрения модулей для других типов измерений.

Ключевые слова: снегомерный маршрут, снегомерная съемка, сбор данных, геоинформационная система, мониторинг, архитектура геоинформационной системы

• Поступила: 10.11.2023 • Доработана: 19.11.2023 • Принята к опубликованию: 27.11.2023

Для цитирования: Бельшева Ю.В., Сутягин Д.Д., Зимина Э.С. Об архитектуре распределенной геоинформационной технологии мониторинга снежного покрова, функционирующей в обстоятельствах ограниченной телекоммуникационной доступности. *Russ. Technol. J.* 2023;11(6):99–108. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2023-11-6-99-108>

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

RESEARCH ARTICLE

Architecture of distributed geoinformation technology for snow cover monitoring in circumstances of limited telecommunications accessibility

Yulia V. Belysheva[@],
Daniil D. Sutyagin,
Elizabet S. Zimina

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, 105064 Russia

[@] Corresponding author, e-mail: meteoinfo@list.ru

Abstract

Objectives. Snow cover has a complex multifactorial impact on the environment as a link between global climatic processes and the system of the Earth's surface. Snow cover monitoring is one of the key tasks of hydrometeorology which also requires the systematic regular collection of its indicators. This work aims to develop an architecture of geoinformation technology for snow cover monitoring with the purpose of addressing the problem of automating the collection of snow cover indicators and their further maintenance. This architecture can also be used for other hydrometeorological monitoring tasks.

Methods. This paper analyzes the existing fundamental basis of snow cover data collection and uses the method of systems approach to describe the architecture of distributed geoinformation technology.

Results. The paper presents an architecture of distributed geoinformation technology focused on snow cover monitoring from measurements, data aggregation, and validation to their transfer to a centralized processing system. A prototype of portable user terminal modules for testing this technology is developed.

Conclusions. The proposed architecture is capable of functioning in circumstances of limited telecommunication availability, while ensuring data integrity control and personalization of responsibility by introducing an electronic signature of each measurement session. This architecture can be expanded by developing and implementing modules for other types of measurements.

Keywords: snow measuring route, snow measuring survey, data collection, geoinformation system, monitoring, geoinformation system architecture

• Submitted: 10.11.2023 • Revised: 19.11.2023 • Accepted: 27.11.2023

For citation: Belysheva Yu.V., Sutyagin D.D., Zimina E.S. On the architecture of a distributed geoinformation technology for monitoring snow cover, functioning in circumstances of limited telecommunications accessibility. *Russ. Technol. J.* 2023;11(6):99–108. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2023-11-6-99-108>

Financial disclosure: The authors have no a financial or property interest in any material or method mentioned.

The authors declare no conflicts of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Снежный покров оказывает комплексное многофакторное влияние на окружающую среду, являясь связующим звеном между глобальными климатическими процессами и системой земной поверхности. Он определяет величину годового стока, уровень весеннего половодья, ледовый режим рек, интенсивность наледных и лавинных процессов, годовой баланс ледников [1]. Совокупность излучательных, отражательных и изоляционных свойств снежного покрова существенно снижает поступление коротковолновой радиации к поверхности земли, тем самым оказывая влияние на климатическую составляющую, что приводит к выхолаживанию воздуха и образованию приземных радиационных инверсий температуры [2, 3]. Одновременно с этим сокращая потери тепла в атмосферу, он уменьшает промерзание почв и амплитуды колебаний температуры, предотвращая вымерзание сельскохозяйственных культур [4].

Снежный покров является индикатором загрязнения атмосферного воздуха и последующего загрязнения почвы, поверхностных и подземных вод [5], что позволяет оценить суммарные параметры загрязнения в зимней период [6, 7]. Кроме того, снежный покров обеспечивает водными ресурсами значительную часть населения Земли [8].

Таким образом, мониторинг снежного покрова является одной из ключевых задач гидрометеорологии, в рамках которой проводится систематический регулярный сбор таких показателей снежного покрова, как:

- общая высота снежного покрова,
- распределение плотности снежного покрова по его толщине,
- наличие и концентрация примесей: взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид азота, сероводород, фенол, толуол, ксилол, бензол, формальдегид, бенз(а)пирен,

что позволяет в результате оценить ключевые для хозяйственной деятельности показатели:

- запас воды (водный эквивалент) в снежном покрове;
- объем годового стока рек,
- уровень весеннего половодья,
- ледовый режим рек,
- интенсивность наледных и лавинных процессов,

- годовой баланс ледников,
- продолжительность залегания снежного покрова,
- сроки разрушения снежного покрова (для определения продолжительности вегетационного периода).

В настоящий момент существует множество подходов к измерению показателей снежного покрова, основанных на методах дистанционного зондирования Земли космическими [9, 10, 11] и внутриатмосферными аппаратами¹ [12], в т.ч. современными беспилотными летательными аппаратами [13, 14], а также методами, предполагающими непосредственное присутствие на местности автоматизированных измерительных станций², собирающих, в т.ч., видеовые (фото и видео) материалы [15, 16], либо специалистов-метеорологов [17], применяющих как разрушающие, так и неразрушающие техники, например, основанные на лазерном³ или радиоизлучении [18]. Задействование мобильных устройств, например, для измерения давления, позволяет обеспечить беспрецедентную плотность покрытия и территориальный охват [19], а их использование для сбора данных об осадках позволяет дополнять прогностические карты [20].

К сожалению, текущий уровень развития технологий не позволяет обеспечить сбор всех необходимых показателей без применения полевых методов, а главное, без регулярного присутствия «в поле» квалифицированного специалиста-гидрометеоролога. Более того, в отечественной практике отсутствует системный подход к проблеме автоматизации полевой работы специалистов-метеорологов. Значительная часть работы выполняется вручную, с применением аналоговых инструментов и бумажных журналов

¹ Koch F., Appel F. et al. *GPS-based measurements of snow cover properties for snow-hydrological, risk and snow quality applications*. Conference: EGU General Assembly. Vienna; 2019.

² Свидетельство о государственной регистрации. Станции автоматизированные метеорологические «Snow». Номер госреестра: 52771-13. [State registration certificate. *Automated meteorological stations "Snow"*. State registration number: 52771-13 (in Russ.)].

³ Roy A., Langlois A., Montpetit B., Royer A., Champolion N., Ghislain R., Domine F., Fily M. *Field measurements of snow grain specific surface area using near-infrared photography and laser reflectometry in Northern Canadian tundra*. AGU Fall Meeting Abstracts. 2010.

фиксации результатов измерений, что требует их последующей оцифровки, и, как следствие, является потенциальным источником ошибок и уязвимостей системы к проявлениям человеческого фактора.

Согласно [21] происходит изменение плана работ на метеорологической сети⁴, в частности сокращение снегомерных измерений, что связано с отсутствием приборов и недостаточностью квалификации персонала.

Целью работы является разработка архитектуры геоинформационной технологии мониторинга снежного покрова, комплексно решающей проблему автоматизации сбора показателей снежного покрова и их дальнейшего сопровождения, а также расширяемой для других задач гидрометеорологического мониторинга.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Для решения поставленной задачи необходимо создать функционально-масштабируемую и интегрируемую систему, позволяющую обеспечивать взаимодействие с множеством потенциальных потребителей данных, в т.ч. уже внедренных информационных и геоинформационных систем, а также с автоматизированными измерительными комплексами, отдельными первичными (измерительными) преобразователями, приемниками спутниковых систем навигации (GPS, ГЛОНАСС и др.), средствами фотовидеофиксации и специализированным измерительным оборудованием, не исключая при этом возможности использования аналогового измерительного оборудования за счет возможности интерактивного пользовательского ввода.

Ввиду потенциально высокой важности собираемой информации необходимо обеспечить сбор и сохранение всех первичных и промежуточных данных, а также сопутствующих сведений, позволяющих впоследствии подтвердить как факт выполнения измерений, так и корректность процедуры измерений, а также воспроизвести все необходимые вычисления. Также требуется возможность удостоверения каждой серии измерений электронной подписью, связанной с конкретным специалистом, выполняющим измерения, либо с отдельным измерительным прибором или комплексом.

Мониторинг на обширной и неоднородной территории, характерной для Российской Федерации, требует учета географической распределенности пунктов наблюдения, включая пункты на труднодоступных территориях, и уровня их технологического оснащения.

Главным требованием к технологическому оснащению перспективной системы является учет

ограниченной телекоммуникационной доступности: отсутствия или нерегулярности доступа к публичным телекоммуникационным сетям у носимых пользовательских терминалов и у локальной сети пункта наблюдений; плохой связи между пользовательским терминалом и локальной сетью пункта наблюдений; использовании медленных и нестабильных каналов связи, в т.ч. ассиметричных. В отдельных случаях прямая телекоммуникационная доступность может быть невозможна, а передача данных может осуществляться только с помощью съемных носителей.

Значительная часть компьютерного оборудования отдельных пунктов наблюдений, главным образом, носимые пользовательские терминалы, может функционировать в экстремальных условиях, что предполагает высокую вероятность выхода из строя отдельных устройств. Для создания перспективной системы это должно быть скомпенсировано избыточностью хранения наиболее ценных данных.

В качестве носимых пользовательских терминалов могут быть использованы потребительские мобильные устройства на платформе Android – смартфоны и планшеты. Другие компоненты системы могут функционировать на базе персональных компьютеров, серверов общего назначения, а также специализированных устройств с ограниченными вычислительными ресурсами.

АРХИТЕКТУРА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ключевым решением предлагаемой архитектуры является одноранговая (пиринговая) модель коммуникаций, предполагающая формирование системы, как совокупности однородных узлов, обменивающихся неизменяемыми пакетами данных. Данная модель концептуально схожа с распределенными сетями хранения данных, например, InterPlanetary File System (IPFS)⁵ и может рассматриваться как упрощенная версия другой разработки авторов [22], отличающаяся только сбором данных, но не предоставлением их и сервисов на их основе потребителям.

Единицей хранения и передачи данных между узлами сети является *пакет*. Каждый пакет в системе однозначно идентифицируем по следующему набору метаданных:

- дате и времени создания по всемирному координированному времени (англ., Coordinated Universal Time – UTC);
- идентификатору создавшего пакет узла (universally unique identifier, UUID),

⁴ Обзор состояния системы гидрологических наблюдений, обработки данных и подготовки информационной продукции в 2020 году: Справочное издание. Санкт-Петербург: РИАЛ; 2021. 56 с. [Review of the State of the Hydrological Observing System, Data Processing and Preparation of Information Products in 2020: Reference Edition. St. Petersburg: RIAL; 2021. 56 p. (in Russ.)]

⁵ Benet J. Content Addressed, Versioned, P2P File System. IPFS. 2014.

Таблица 1. Типы и приоритеты пакетов данных в распределенной геоинформационной системе

Приоритет	Тип	Описание
1	Манифест	Декларирует факт наличия измерений. Содержит ограничивающие прямоугольники, позволяющие построить пространственный индекс данных без их наличия. Должен быть минимального объема
2	Результат измерений	Содержит ценный для дальнейшей обработки результат измерений
3	Первичные данные	Для сложных измерительных приборов содержит первичные данные, позволяющие повторить расчет результата
4	Сопутствующие данные	Содержит данные, не несущие непосредственной ценности, но позволяющие подтвердить достоверность полученных результатов, например, данные фотовидеофиксации, треки спутниковых систем навигации и т.п.



Рис. 1. Принципиальная схема узла распределенной геоинформационной системы. СУБД – система управления базами данных, FTP(S) – file transfer protocol + secure sockets layer

- идентификатору набора пакетов (UUID) – может повторяться для нескольких пакетов, если они относятся к одной серии измерений,
- приоритету пакета,
- коду типа пакета,
- хеш-сумме содержимого.

Пакет может быть однозначно представлен в виде файла, что позволяет пользователю использовать любой доступный ему способ их передачи.

Для удобства эксплуатации ядро системы может непосредственно поддерживать несколько протоколов обмена файлами. При наличии прямой телекоммуникационной доступности, даже постоянной, может быть использован любой файло-ориентированный протокол. Среди современных криптографически защищенных протоколов можно отметить SFTP (secure file transfer protocol)⁶ и UFTP (UDP-based file transfer protocol, UDP – user

datagram protocol)⁷. Важным достоинством UFTP для целей разрабатываемой системы является возможность его применения в каналах связи с высокой пропускной способностью, но высокой латентностью, что характерно, например, для спутниковой связи, используемой в труднодоступных территориях. В условиях отсутствия прямой телекоммуникационной доступности возможно использование передачи данных на основе съемных носителей – так называемых SneakerNet [23]. Одним из программных пакетов, реализующих необходимую функциональность, является NNCP (node to node copy)⁸.

Приоритизация пакетов позволяет сначала передать наиболее ценные для оперативной обработки данные.

Предполагаемые типы и приоритеты пакетов представлены в табл. 1.

Принципиальная схема узла сети представлена на рис. 1.

⁶ Ylonen T., Lehtinen S. *SSH File Transfer Protocol draft-ietf-secsh-filexfer-02.txt*. SSH Communications Security Corp. October, 2001. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-secsh-filexfer-02>. Дата обращения 01.11.2023. / Accessed November 01, 2023.

⁷ UFTP – Encrypted UDP based FTP with multicast. URL: <https://uftp-multicast.sourceforge.net/>. Дата обращения 01.11.2023. / Accessed November 01, 2023.

⁸ NNCP. URL: <http://www.nnepgo.org/>. Дата обращения 01.11.2023. / Accessed November 01, 2023.

Помимо базовых модулей, общих для всех узлов, выделяются отдельные типы узлов, ориентированные на решение различных задач в сети:

- носимые пользовательские терминалы: сбор данных, ручной ввод, взаимодействие с измерительным оборудованием;
- узлы автоматизированного сбора данных: сохранение данных с измерительного оборудования;
- персональные компьютеры пункта наблюдений: агрегация данных, первичный анализ, визуализация;
- сервер: агрегация данных с большого количества источников, хранение большого объема данных, предоставление веб-интерфейса.

Для направления потоков данных между узлами вводятся уровни узлов и следующие правила:

- уровень 1 присваивается носимым пользовательским терминалам, непосредственно осуществляющим сбор данных;
- более высокие уровни присваиваются узлам локальных пунктов наблюдения, и далее – региональным и федеральным узлам;
- при взаимодействии узлов одного уровня данные синхронизируются в обе стороны, что обеспечивает резервное копирование;
- при взаимодействии узлов разных уровней данные передаются от узла меньшего уровня узлу большего уровня, что обеспечивает агрегацию сведений.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Автоматизация процедуры полевых измерений выполняется программными модулями, предназначенными для размещения на носимом пользовательском терминале. Они предусматривают возможность первичного ввода и корректировки измеренных значений, выполнения расчетов, визуализации данных в табличных и графических форматах.

Результаты измерений вносят в приложение непосредственно во время проведения измерений на маршруте. Расчет средних параметров и запаса воды производится автоматически.

Для выполнения снегосъемки требуются градуированная рейка и весовой снегомер. Процесс снегосъемки предполагает сбор данных о результатах следующих измерений:

- высота снежного покрова (отсчет по шкале градуированной линейки);
- отсчет по шкале цилиндра весового снегомера;
- отсчет по линейке весов весового снегомера;
- толщина ледяной корки (отсчет по шкале градуированной линейки);

- толщина слоя снега, насыщенного водой (отсчет по шкале градуированной линейки);
- структура снежного покрова;
- степень покрытия снегом;
- степень покрытия ледяной коркой;
- состояние поверхности почвы под снегом (таялая, мерзлая).

Наблюдения за снежным покровом на снегомерных маршрутах начинаются, когда снегом покрыто 6 баллов и более видимой окрестности и заканчиваются после разрушения устойчивого снежного покрова (степень покрытия менее 5 баллов).

Порядок выполнения наблюдений с применением разработанных программных модулей следующий:

1. Прохождение идентификации и аутентификации специалиста-метеоролога.
2. Включение геопозиции на первой точке измерения высоты снежного покрова.
3. Высота снежного покрова измеряется каждые двадцать метров с занесением данных измерений в соответствующие ячейки. Ячейка «ЗАМЕР №_» указывает, сколько замеров произведено.
4. Первая точка для измерения массы снежного покрова выбирается на расстоянии 50–100 м от начала маршрута. Далее измерения производят каждые 200 м. Всего измерений плотности снежного покрова – 10. Измерения высоты снежного покрова по цилиндру необходимы для вычисления плотности снежного покрова. Данные о высоте снежного покрова по цилиндру весового снегомера вносят в соответствующую ячейку. Ячейка «ОТСЧЕТ №_ ПО ШКАЛЕ ЦИЛИНДРА» указывает, сколько замеров по высоте снежного покрова цилиндром произведено.
5. После измерения высоты снежного покрова по цилиндру весового снегомера производят взвешивание снежного покрова. Данные по весам вносят в соответствующую ячейку. Ячейка «ОТСЧЕТ №_ ПО ВЕСАМ» указывает, сколько замеров по определению массы снежного покрова произведено. Плотность рассчитывается автоматически. Расчет плотности можно посмотреть, перейдя на вкладку «ПЛОТНОСТЬ». Нумерация ячеек «ПЛОТНОСТЬ №_» показывает, сколько замеров для расчета плотности произведено. Кроме измерения плотности в выбранных точках измеряется толщина слоя талой воды, слоя снега, насыщенного водой, толщина притертой ледяной корки, а также оценивается состояние почвы под снежным покровом (мерзлая или таялая). Ячейки для внесения данных открываются поочередно после внесения результатов измерения по каждой точке.

Если измерения не производились по причине отсутствия данных, ставится прочерк. Характеристика состояния поверхности почвы выбирается из предложенного списка: талая, мерзлая. Наличие снежной корки внутри снежного покрова и на поверхности снежного покрова отмечается: да, нет.

6. После прохождения маршрута метеоролог делает снимок поля и загружает в приложение для характеристики всего снегомерного маршрута. Снимок автоматически сохраняется.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ВАЛИДАЦИИ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Автоматизация процедуры валидации полевых измерений выполняется модулями, предназначенными для размещения на носимом пользовательском терминале, а также на узлах, на которых предполагается дополнительный контроль качества измерений.

В настоящий момент предусмотренные проверки, по результатам которых пользователю может быть выдано предупреждение, основаны на разработанном алгоритме:

- количество измерений на снегомерном маршруте должно находиться в допустимом диапазоне;
- средняя высота снежного покрова на маршрутной линии должна быть больше или равна минимальной высоте снежного покрова или меньше, или равна максимальной высоте снега по рейке;
- средняя плотность снега, рассчитанная по данным измерениям снегомерного маршрута, должна быть больше или равна минимальной плотности снега и меньше или равна максимальной плотности снега рассчитанной по данным измерениям снегомерного маршрута;
- среднее содержание воды в снежном покрове, рассчитанное по данным измерениям снегомерного маршрута, должно быть больше или равно минимальному значению снегомерного маршрута и меньше или равно максимальному содержанию воды снегомерного маршрута.

С помощью графика, выведенного в приложении, можно определить сомнительные (потенциально некачественные) замеры непосредственно на маршруте и выполнить повторные замеры. Некачественные замеры могут возникнуть из-за человеческого фактора. В некоторых случаях метеоролог допускает ошибку при вводе результатов измерений. Линия маршрута на графике формируется на основании данных измерений, проведенных непосредственно на маршруте снегосъемки.

ПРОТОТИП ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Авторами был реализован прототип модулей носимого пользовательского терминала, ориентированный на выполнение в базе операционной системы Android версии не ниже 10. Особого внимания заслуживают элементы, позволяющие повысить качество собираемых данных путем оперативного обнаружения сомнительных измерений непосредственно в процессе выполнения снегосъемки. Так, график снегомерного маршрута (рис. 2) отражает номер снегосъемки, номер метеорологической станции, длину пройденного маршрута, длину оставшегося маршрута, минимальные и максимальные высоты измерений. С учетом того, что метеоролог обследует маршрут снегосъемки заблаговременно, до выпадения снежного покрова, он имеет план-схему линии маршрута с указанием перепадов и возвышенностей, а также отметками расположения объектов (дорога, деревья, кусты и т.д.), расположенных на маршрутной линии и на территории, окружающей по периметру маршрутную линию. Данные подгруженной карты позволяют по данным снегосъемки определить сомнительные измерения. Точки на линии, выделенные отличительным цветом, указывают на перепады высот снегомерного маршрута. Таблица расчетов средних параметров помогает выявить сомнительные измерения сразу на снегомерном маршруте. Сомнительные значения выделяются отдельным шрифтом, что указывает на возможную ошибку измерений (рис. 3).



Рис. 2. График маршрута снегосъемки с обозначением пунктов измерений

МАРШРУТНАЯ СНЕГОСЪЕМКА № 001										СТАНЦИЯ № 00000				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сумма	Отсчет цилиндра, h, см	Линейка весов, m, г	Плотность, m/10h, г/см³
10	50	48	53	52	46	50	50	54	51	58	512	46	94	0.2
20	54	47	46	41	50	52	48	53	51	52	494	50	78	0.2
30	58	51	41	51	52	47	49	49	52	51	502	52	108	0.2
40	47	50	45	53	48	49	50	47	46	54	489	48	87	0.2
50	50	51	37	52	41	50	43	45	51	50	470	41	59	0.1
60	50	54	43	43	52	50	53	46	49	51	491	52	102	0.2
70	51	52	42	54	48	51	48	47	47	47	487	48	91	0.2
80	54	50	41	53	47	56	50	44	55	50	500	47	100	0.2
90	48	53	51	52	44	40	49	48	49	47	481	44	89	0.2
100	47	46	53	47	44	50	49	51	54	48	489	44	90	0.2
Сумма	510	502	452	498	472	495	489	484	505	508	4915			
Средняя высота снежного покрова, см												49		1.9

ИЗМЕРЕНИЯ

ГЛАВНАЯ

ИЗМЕРЕНИЯ

ГЛАВНАЯ

Рис. 3. Таблица общих измерений с расчетом средних параметров снежного покрова на маршрутной снегосъемке

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная авторами архитектура распределенной геоинформационной технологии позволяет проводить мониторинг снежного покрова от выполнения измерений, агрегации данных и их валидации до их передачи в централизованную систему обработки. При этом данная архитектура способна

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ревякин В.С. *Снежный покров и лавины Алтая*. Омск: Национальный исследовательский Томский государственный университет; 1977. 215 с.
2. Неведьева Е.А. *Влияние снежного покрова на ландшафтные связи*. М.: Наука; 1975. 77 с.
3. Рихтер Г.Д. *Снежный покров, его формирования и свойства*. Л.: Изд-во Акад. наук СССР; 1945. 120 с.
4. Копанев И.Д. *Методы изучения снежного покрова*. Л.: Гидрометеиздат; 1971. 226 с.
5. Даунов Б.Я., Гапеев А.А. Возможность оценки состояния атмосферы по характеристикам загрязнения снега и почвы. *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*. 2018;1(9):205–207.
6. Негрбов О.П., Астанин И.К., Стародубцев В.С., Астанина Н.Н. Снежный покров как индикатор состояния атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга. *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2005;2:149–153.
7. Лабузова О.М., Носкова Т.В., Лысенко М.С., Овчаренко Е.А., Папина Т.С. Снежный покров городской территории как источник техногенного загрязнения поверхностных вод в период снеготаяния. *Принципы экологии*. 2016;4(20):33–41.

функционировать в обстоятельствах ограниченной телекоммуникационной доступности, а также обеспечивать контроль целостности данных и персонализацию ответственности за их получение путем введения электронной подписи каждого сеанса измерений. Архитектура может быть расширена путем разработки и внедрения модулей для других типов измерений.

В настоящее время разработан прототип модулей носимого пользовательского терминала, позволяющего провести их апробацию.

Дальнейшие исследования авторов будут посвящены сбору данных по снегомерному маршруту с помощью видовой информации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Результаты получены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FSFE 2022-0002.

ACKNOWLEDGMENTS

The results were obtained within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. FSFE 2022-0002.

Вклад авторов. Все авторы в равной степени внесли свой вклад в исследовательскую работу.

Authors' contribution. All authors equally contributed to the research work.

REFERENCES

1. Revyakin V.S. *Snezhnyi pokrov i laviny Altaya (Snow Cover and Avalanches in the Altai Mountains)*. Omsk: Tomsk State University; 1977. 215 p. (in Russ.).
2. Nefedeva E.A. *Vliyaniye sneznogo pokrova na landshaftnye svyazi (Impact of Snow Cover on Landscape Connectivity)*. Moscow: Nauka; 1975. 77 p. (in Russ.).
3. Rihter G.D. *Snezhnyi pokrov, ego formirovaniya i svoystva (Snow Cover, its Formation and Properties)*. Leningrad: Izdatelstvo Akademii nauk SSSR; 1945. 120 p. (in Russ.).
4. Kopanev I.D. *Metody izucheniya sneznogo pokrova (Methods of Studying Snow Cover)*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1971. 226 p. (in Russ.).
5. Daunov B.Y., Gapeev A.A. Possibility of atmospheric state estimation by characteristics of snow and soil pollution. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy = Fire Safety: Problems and Prospects*. 2018;(1)9:205–207 (in Russ.).
6. Negrobov O.P., Astanin I.K., Starodubtsev V.S., Astanina N.N. Snow cover as the indicator of the condition of atmospheric air in system of socially-hygienic monitoring. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya = Proceeding of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2005;2:149–153 (in Russ.).

8. Hao J., Mind'je R., Feng T., Li L. Performance of snow density measurement systems in snow stratigraphies. *Hydrology Research*. 2021;52(4):834–846. <https://doi.org/10.2166/nh.2021.133>
9. Попова В.В., Морозова П.А., Титкова Т.Б., Семенов В.А., Черенкова Е.А., Ширяева А.В., Китаев Л.М. Региональные особенности современных изменений зимней аккумуляции снега на севере Евразии по данным наблюдений, реанализа и спутниковых измерений. *Лед и Снег*. 2015;55(4):73–86. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2015-4-73-86>
10. Rutter N., Essery R.L.H., Pomeroy J.W., Altimir N., et al. Evaluation of forest snow processes models (Snow-MIP2). *J. Geophys. Res. Atmospheres*. 2009;114(D6):D6111. <https://doi.org/10.1029/2008JD011063>
11. Salomonson V.V., Appel I. Estimating fractional snow coverage from MODIS using the Normalized Difference Snow Index (NDSI). *Remote Sensing of Environment*. 2009;89(3):351–360. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.10.016>
12. Anderson K.D. Determination of water level and tides using interferometric observations of GPS signals. *J. Atmospheric Oceanic Technol.* 2000;17(8):1118–1127. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2000\)017<1118:DO WLAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2000)017<1118:DO WLAT>2.0.CO;2)
13. Tarchi D., Guglieri G., Vespe M., Gioia C., Sermi F., Kyovtorov V. Mini-Radar System for Flying Platforms. In: *IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*. 2017;40–44. <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace.2017.7999623>
14. Jenssen R.O.R., Eckerstorfer M., Jacobsen S. Drone-Mounted Ultrawideband Radar for Retrieval of Snowpack Properties. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2020;69(1):221–230. <https://doi.org/10.1109/TIM.2019.2893043>
15. Dong C., Menzel L. Smartphone-based measurements of the optical properties of snow. *Hydrological Processes*. 2017;31(16):2872–2886. <https://doi.org/10.1002/hyp.11229>
16. Allgaier M., Smith B. A smartphone-based sensor for measuring the optical properties of snow. *Appl. Opt.* 2022;61(15):4429–4436. <https://doi.org/10.1364/ao.457976>
17. Bulygina O.N., Groisman P.Ya., Razuvaev V.N., Korshunova N.N. Changes in snow cover characteristics over Northern Eurasia since 1966. *Environ. Res. Lett.* 2011;6(4):045204. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045204>
18. Wang J., Hu Y., Li Z., Zhang C., Lei L., Wang J. Improving GPS-IR Snow Depth Estimation by Considering the Snow Surface Roughness. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2022;2356(1):012048. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2356/1/012048>
19. Pimentel R., Herrero J., Zeng Y., Su B. Study of Snow Dynamics at Subgrid Scale in Semiarid Environments Combining Terrestrial Photography and Data Assimilation Techniques. *J. Hydrometeorology*. 2015;16(2):563–578. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0046.1>
20. Mernild S., Liston G., Hiemstra C., Steffen K. Surface Melt Area and Water Balance Modeling on the Greenland Ice Sheet 1995–2005. *J. Hydrometeorology*. 2008;9(6):1191–1211. <https://doi.org/10.1175/2008JHM957.1>
7. Labuzova O.M., Noskova T.V., Lysenko M.S., Ovcharenko E.A., Papina T.S. Snow cover as a source of technogenic pollution of surface water during the snow melting period. *Principy ekologii = Principles of the Ecology*. 2016;4(20):33–41 (in Russ.).
8. Hao J., Mind'je R., Feng T., Li L. Performance of snow density measurement systems in snow stratigraphies. *Hydrology Research*. 2021;52(4):834–846. <https://doi.org/10.2166/nh.2021.133>
9. Popova V.V., Morozova P.A., Titkova T.B., Semyonov V.A., Cherenkova E.A., Shiryaeva A.V., Kitaev L.M. Regional features of present winter snow accumulation variability in the North Eurasia from data of observations, reanalysis and satellites. *Led i Sneg = Ice and Snow*. 2015;55(4):73–86 (in Russ.). <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2015-4-73-86>
10. Rutter N., Essery R.L.H., Pomeroy J.W., Altimir N., et al. Evaluation of forest snow processes models (Snow-MIP2). *J. Geophys. Res. Atmospheres*. 2009;114(D6):D6111. <https://doi.org/10.1029/2008JD011063>
11. Salomonson V.V., Appel I. Estimating fractional snow coverage from MODIS using the Normalized Difference Snow Index (NDSI). *Remote Sensing of Environment*. 2009;89(3):351–360. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.10.016>
12. Anderson K.D. Determination of water level and tides using interferometric observations of GPS signals. *J. Atmospheric Oceanic Technol.* 2000;17(8):1118–1127. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2000\)017<1118:DO WLAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2000)017<1118:DO WLAT>2.0.CO;2)
13. Tarchi D., Guglieri G., Vespe M., Gioia C., Sermi F., Kyovtorov V. Mini-Radar System for Flying Platforms. In: *IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)*. 2017;40–44. <https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace.2017.7999623>
14. Jenssen R.O.R., Eckerstorfer M., Jacobsen S. Drone-Mounted Ultrawideband Radar for Retrieval of Snowpack Properties. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2020;69(1):221–230. <https://doi.org/10.1109/TIM.2019.2893043>
15. Dong C., Menzel L. Snow process monitoring in montane forests with time-lapse photography. *Hydrological Processes*. 2017;31(16):2872–2886. <https://doi.org/10.1002/hyp.11229>
16. Allgaier M., Smith B. Smartphone-based measurements of the optical properties of snow. *Appl. Opt.* 2022;61(15):4429–4436. <https://doi.org/10.1364/ao.457976>
17. Bulygina O.N., Groisman P.Ya., Razuvaev V.N., Korshunova N.N. Changes in snow cover characteristics over Northern Eurasia since 1966. *Environ. Res. Lett.* 2011;6(4):045204. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045204>
18. Wang J., Hu Y., Li Z., Zhang C., Lei L., Wang J. Improving GPS-IR Snow Depth Estimation by Considering the Snow Surface Roughness. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2022;2356(1):012048. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2356/1/012048>
19. Pimentel R., Herrero J., Zeng Y., Su B. Study of Snow Dynamics at Subgrid Scale in Semiarid Environments Combining Terrestrial Photography and Data Assimilation Techniques. *J. Hydrometeorology*. 2015;16(2):563–578. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0046.1>

21. Бельчиков В.А., Борщ С.В., Павроз Ю.А., Романов А.В., Сильницкая М.И., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Современное состояние и перспективы совершенствования системы оперативного гидрологического прогнозирования в Гидрометцентре России. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2019;4(374):184–202.
22. Gvozdev O.G., Vorobyev V.E. The concept of information infrastructure of a multi-satellite system for Earth remote sensing. In: *Proceedings of the 20th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2020*. 2020;20(2.2):275–284. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/2.2/s10.033>
23. Jaya A.C., Safitri C., Mandala R. Sneakernet: A Technological Overview and Improvement. In: *IEEE International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)*. 2020. <https://doi.org/10.1109/ICSECC51444.2020.9557509>
20. Mernild S., Liston G., Hiemstra C., Steffen K. Surface Melt Area and Water Balance Modeling on the Greenland Ice Sheet 1995–2005. *J. Hydrometeorology*. 2008;9(6): 1191–1211. <https://doi.org/10.1175/2008JHM957.1>
21. Belchikov V.A., Borsch S.V., Pavroz Yu.A., Romanov A.V., Silnitskaya M.I., Simonov Yu.A., Khristoforov A.V. Current Status and Prospects for Improving the Operational Hydrological Forecasting System in the Hydrometeorological Center of Russia. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy = Hydrometeorological Research and Forecasting*. 2019;4(374):184–202 (in Russ.).
22. Gvozdev O.G., Vorobyev V.E. The concept of information infrastructure of a multi-satellite system for Earth remote sensing. In: *Proceedings of the 20th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2020*. 2020;20(2.2):275–284. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/2.2/s10.033>
23. Jaya A.C., Safitri C., Mandala R. Sneakernet: A Technological Overview and Improvement. In: *IEEE International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC)*. 2020. <https://doi.org/10.1109/ICSECC51444.2020.9557509>

Об авторах

Бельшева Юлия Владимировна, преподаватель, кафедра информационно-измерительных систем ФГБОУ ВО «МИИГАиК – Московский государственный университет геодезии и картографии» (105064, Россия, Москва, Гороховский пер., д. 4). E-mail: meteoinfo@list.ru. <https://orcid.org/0009-0002-5785-3904>

Сутягин Даниил Денисович, преподаватель, кафедра информационно-измерительных систем ФГБОУ ВО «МИИГАиК – Московский государственный университет геодезии и картографии» (105064, Россия, Москва, Гороховский пер., д. 4). <https://orcid.org/0009-0009-8138-7756>

Зимина Элизабет Сергеевна, студент, ФГБОУ ВО «МИИГАиК – Московский государственный университет геодезии и картографии» (105064, Россия, Москва, Гороховский пер., д. 4). <https://orcid.org/0009-0003-7164-1681>

About the authors

Yulia V. Belysheva, Lecturer, Department of Information Measuring Systems, MIIGAik – Moscow State University of Geodesy and Cartography (4, Gorokhovsky per., Moscow, 105064 Russia). E-mail: meteoinfo@list.ru. <https://orcid.org/0009-0002-5785-3904>

Daniil D. Sutyagin, Lecturer, Department of Information Measuring Systems, MIIGAik – Moscow State University of Geodesy and Cartography (4, Gorokhovsky per., Moscow, 105064 Russia). <https://orcid.org/0009-0009-8138-7756>

Elizabet S. Zimina, Student, MIIGAik – Moscow State University of Geodesy and Cartography (4, Gorokhovsky per., Moscow, 105064 Russia). <https://orcid.org/0009-0003-7164-1681>

Отпечатано в «МИРЭА – Российский технологический университет».

119454, РФ, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 78.

Подписано в печать 30.11.2023 г.

Формат 60 × 90/8. Печать цифровая.

Уч.-изд. листов 13.5.

Тираж 100 экз. Заказ № 452.

Подписку на печатную версию

Russian Technological Journal можно оформить
через ООО «Агентство «Книга-Сервис», www.akc.ru.

Подписной индекс: **79641**.

Printed in MIREA – Russian Technological University.
78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russian
Federation.

Signed to print November 30, 2023.

Format 60 × 90/8. Digital print.

C.p.l. 13.5.

100 copies. Order No. 452.

Subscription to the *Russian Technological
Journal* printed version can be made through
the *Kniga-Servis* Agency, www.akc.ru.

Subscription index: **79641**.