



АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212_2025_1_147
МРНТИ 71.01.85

В.Н. Зуев¹, Е.Ж. Машаев², Д.А. Спивак³, Г.К. Даумова⁴, О.А. Петрова⁵

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

¹E-mail: VZuev@edu.ektu.kz

²E-mail: YMashayev@edu.ektu.kz

³E-mail: DSpivak@edu.ektu.kz

⁴E-mail: GDaumova@edu.ektu.kz*

⁵E-mail: OPetrova@edu.ektu.kz

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ В ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ КӨШКІН ҚАУПІ МОНИТОРИНГІНІҢ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ- АППАРАТТЫҚ КЕШЕНІН ӨЗІРЛЕУ

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE-HARDWARE COMPLEX FOR AVALANCHE HAZARD MONITORING IN EAST KAZAKHSTAN

Аннотация. Для многих приложений, связанных с безопасностью, таких как картирование опасностей или управление дорогами, хорошо документированные сходы лавин имеют решающее значение. В настоящее время, несмотря на разнообразие направлений исследований в данной области, имеющиеся данные в основном ограничены изолированными местами, где они собираются наблюдателями в полевых условиях. Качественный мониторинг лавиноопасных мест позволит обеспечить безопасность людей, транспорта, туристической инфраструктуры. Разработка собственной автоматизированной системы мониторинга лавинной опасности способствует развитию систем мониторинга стихийных бедствий и окружающей среды в Республике Казахстан. В данной работе мы предлагаем наземную систему измерений, которая позволит осуществлять квазипостоянный мониторинг распределения глубины снега в зонах схода лавин с высоким пространственным и временным разрешением. Система включает в себя: базовую снеголавинную станцию (сенсоры температуры, влажности и давления, датчик ветра, логгер и приборы для автономной работы), температурную снегомерную рейку, API (application programming interface) сервис для сохранения погодных и климатических параметров в базу данных, веб интерфейс системы мониторинга лавинной опасности. Установка предназначена для автономной работы, фиксируя изменения метеоданных и глубины снега в зоне схода лавин. Она установлена в Восточно-Казахстанской области. Используя первые тестовые наборы данных, мы анализируем конкретные сильные и слабые стороны разработанной системы. Вся информация в конечном итоге будет предоставлена специалистам Восточно-Казахстанского территориального эксплуатационного управления ГУ «Казселезащита», акиматам ВКО и районов области и населению.

Ключевые слова: лавины, лавинная опасность, система мониторинга, измерительное оборудование, сенсоры, микроконтроллеры, логгер, программно-аппаратный комплекс.

Аңдатпа. Қауіптіліктерді картаға түсіру немесе жолдарды қадағлау сияқты қауіпсіздікке

қатысты көптеген қосымшалар үшін көшкіндердің түсуінің дұрыс құжатталуы өте маңызды. Қазіргі уақытта осы саладағы зерттеу бағыттарының әртүрлілігіне қарамастан, қолда бар деректер негізінен бақылаушылармен далалық жағдайда жиналған оқшауланған орындармен шектеледі. Көшкін қаупі бар орындардың сапалы мониторингі адамдардың, көліктің, туристік инфрақұрылымның қауіпсіздігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Көшкін қаупі мониторингінің меншікті автоматтандырылған жүйесін өзірлеу Қазақстан Республикасындағы табиғи апаттар мен қоршаған орта мониторингінің жүйелерін дамытуға ықпал етеді. Бұл жұмыста жоғары кеңістікті және уақыттық ажыратымдылықтағы қар көшкіні аймақтарында қар тереңдігінің таралуына квази-тұрақты мониторинг жүргізуге мүмкіндік беретін жерүсті өлшеу жүйесін ұсынылады. Жүйеге мыналар кіреді: негізгі қар көшкіні станциясы (температура, ылғалдылық және қысым сенсорлары, жел датчигі, логгер және автономды жұмыс үшін приборлар), температуралық қар өлшегіш тақта, API (application programming interface) деректер базасына ауа-райы мен климаттық параметрлерді сақтауға арналған қызмет, көшкін қаупінің мониторинг жүйесінің веб-интерфейсі. Қондырғы қар көшкіні аймағында метеодеректердің өзгеруін және қардың тереңдігін жаза отырып, автономды жұмыс істеуге арналған. Ол Шығыс Қазақстан облысында орнатылған. Алғашқы тестілік мәліметтер жиынтығын қолдана отырып, өзірленген жүйенің нақты күшті және әлсіз жақтары талданған. Барлық ақпарат, сайып келгенде, «Қазселденқорғау» ММ Шығыс Қазақстан аумақтық пайдалану басқармасының мамандарына, ШҚО және облыс аудандарының әкімдіктеріне және халыққа берілетін болады.

Түйін сөздер: қар көшкіні, қар көшкіні қаупі, мониторинг жүйесі, өлшеу жабдықтары, сенсорлар, микроконтроллерлер, логгер, бағдарламалық-аппараттық кешен.

Abstract. For many safety-related applications, such as hazard mapping or road management, well-documented avalanches are crucial. Currently, despite the variety of research areas in this field, the available data is mostly limited to isolated locations where they are collected by observers in the field. High-quality monitoring of avalanche-prone areas will ensure the safety of people, transport, and tourist infrastructure. The development of our own automated avalanche hazard monitoring system contributes to the development of monitoring systems for natural disasters and the environment in the Republic of Kazakhstan. In this paper we propose a ground-based measurement system that will allow for quasi-permanent monitoring of snow depth distribution in avalanche zones with high spatial and temporal resolution. The system includes: a basic snow avalanche station (temperature, humidity and pressure sensors, a wind sensor, a data logger and devices for autonomous operation), a temperature snow-measuring rail, an API (application programming interface) service for saving weather and climatic parameters to a database, and a web interface for monitoring avalanche hazards. The installation is designed for autonomous operation, recording changes in weather data and snow depth in the avalanche zone. It is installed in the East Kazakhstan region. Using the first test datasets, we analyze the specific strengths and weaknesses of the developed system. All information will eventually be provided to specialists of the East Kazakhstan Territorial Operational Management of the State Institution Kazselezashchita, akimats of East Kazakhstan region and districts of the region and the population.

Keywords: avalanches, avalanche hazard, monitoring system, measuring equipment, sensors, microcontrollers, data logger, software-hardware complex.

Введение. Так как задача прогнозирования лавинной опасности является актуальной и очень востребованной для многих стран, то на сегодняшний день данными исследованиями и разработкой автоматизированных систем занимаются почти во всем мире.

Среди разработанных систем мониторинга можно отметить созданную исследователями из Франции (Bourova-Flin, Maldonado, Leroy, Alouani, Eckert, Bonnefoy-Demongeot, Deschatres, 2016) комплексную веб-систему мониторинга лавинной опасности. Авторы рекомендуют использовать для прогноза три набора данных: хронику лавин (Enquête Permanente sur les Avalanches, EPA), карты лавин (Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanche, CLPA) и подборку данных об опасностях для населенных пунктов. Данные интегрированы в общую базу данных, что обеспечивает полную совместимость между всеми типами записей о снежных лавинах: оцифрованные географические данные, характеристики лавин, отчеты очевидцев, фотографии, уровни опасности и риска.

Анализ лавин на основе данных дистанционного зондирования и детальной полевой съемки предлагают авторы из Китая (Bian, Huang, Liao, Ling, Wen, Wu, 2022). Исследо-

ватели изучили центральную часть гор Шалули, провинция Сычуань, Китай. Для прогноза авторы использовали две статистические модели (функцию достоверности фактических данных (EBF) и коэффициент достоверности (CF)) в сочетании с двумя моделями машинного обучения (логистическая регрессия (LR) и многослойный перцептрон (MLP)), на основе которых были созданы четыре интегрированные модели (EBF-LR, CF-LR, EBF-MLP и CF-MLP), а также традиционная модель отношения частот (FR) для оценки лавинной восприимчивости.

Локальные особенности лавиноопасных участков лежат в основе создания методик и алгоритмов прогнозирования схода лавин, которые разрабатываются специально для региона.

К одному из известных методов прогнозирования лавин относится прогноз периода лавинной опасности. Данный период представляет собой такой промежуток времени, в течение которого фактор лавинообразования будет сохраняться на участке. Соответственно данный метод может использоваться при наличии условий лавинообразования, то есть во время снегопадов и метелей (Кочетова, 2019).

Создание лавинных прогнозов начинается с изучения лавиноопасных участков. Для них определяются лавиносорбы, измеряются и рассчитываются их морфометрические данные, собирается информация о лавинном режиме. Исходными данными являются материалы современных наблюдений за снежными лавинами, проводимые уполномоченными государственными структурами, и архивные данные. Далее рассматриваются признаки лавинной опасности, строятся статистические зависимости и математические модели. Наиболее представительным результатом обработки этих данных являются карты лавинной опасности региона.

Первые попытки разработать модель прогноза лавин были предприняты учеными (Bois, Obled, Good, 1974) на примере Швейцарии. Аналогичные исследования были проведены следующими авторами (Xi, Me, 2023), которые уточнили пространственные и временные характеристики снежного покрова: на карты они наносили сведения о снежном покрове, топографию, метеорологию и растительность.

Другой исследователь (Buser, 1989) разработал статистические модели для локального прогнозирования.

Численные одномерные модели, такие как AVAL-1D, Voellmy-Salm или VAlanghe RAdenti (VARA) (Christen, Bartelt, Gruber, 2002), широко используются в Швейцарии и других странах Европы, Америки и Азии.

Их ограничения на открытой и сложной местности привели к разработке 2D и 3D моделей, таких как SAMOS, разработанной для моделирования сухих снежных лавин (Samp, Zwinge, 2004), или RAMMS (Rapid Mass Movement Modelling), и программы для создания трехмерной модели снежной лавины с учетом рельефа и метеорологических данных (Christen, Kowalski, Bartelt, 2010). Программа разработана швейцарской компанией и основана на моделировании массопереноса с отображением траектории движения лавины. RAMMS учитывает ландшафтные и климатические данные, а также параметры конкретных событий.

Можно утверждать, что база данных о лавинах, включая геолокацию, время, тип лавины и зарегистрированные случаи схода лавин, может быть использована для автоматического картографирования с использованием дистанционного зондирования в региональном масштабе.

В западных Гималаях используются технологии дистанционного зондирования и географической информационной системы (ГИС), а также мультиспектральные, гиперспектральные и различные другие оптические и микроволновые спутниковые данные для извлечения информации о снежном покрове и местности в недоступных районах (Singh, Gusain, Mishra, Gupta, 2019).

Трёхмерная модель для анализа накопления снега была разработана коллективом российских ученых (Пьянков, Шихов, Михайлюков, 2019). Она включает в себя средства хранения данных о лавиноопасных склонах, их числовых параметрах, влияющих на стабильность снежного покрова в лавиноопасных зонах. С использованием модели исследователи определили районы, для которых характерна повышенная лавинная активность, сочетая их геоморфологические данные, рассчитанные в модели, и метеорологические, полученные в процессе наблюдений.

Сбор первичных данных непосредственно в лавиноопасных зонах для создания прогнозных моделей лавинной опасности является важной задачей, от которой зависит качество прогнозов. Сбор таких данных производится на снеголавинных и метеостанциях. Например, в Швейцарии таких станций около 180 (Медеу, Благовещенский, Жданов, 2021; Предупреждения о лавинах компании «СенсАльпин»). Они автономно работают в сложных погодных условиях высокогорья. Питание каждой станции обеспечивают солнечные панели. Датчики станций от компании Campbell Scientific выполняют измерения с высоким разрешением и качеством. Управление осуществляется дистанционно (Alpine Automated Weather Instrumentation).

Для развития дистанционных систем мониторинга лавин предлагается использование различных сканеров. Так, например, система обнаружения и отслеживания лавин с применением радара AVYX компании Geograevent может в любых погодных условиях непрерывно сканировать лавиноопасный склон. При обнаружении смещения снега на склоне система автоматически подает сигнал либо на устройство, либо перекрывает дорогу посредством подключенных шлагбаумов или светофоров. Это позволяет фиксировать сход лавины в режиме реального времени и быстро распространить оповещение и ограничения. На основе полученных данных можно создавать соответствующие карты лавинных рисков. Радар также может помочь при проведении профилактических спусков лавин для оценки эффективности мероприятия (Лавинный радар компании «Geograevent»).

В качестве дистанционного метода наблюдения за лавинами могут быть использованы акустические устройства по опыту Швейцарии. Такие системы могут состоять из устройства акустического обследования, установленного на поверхности земли. Такое устройство способно не только измерить высоту снежного покрова, но и определить наличие в снежной массе слабого слоя, насыщенного водой. В сочетании с лидаром такой метод дает возможность получения сравнительно точного прогноза лавинной опасности (устройство акустического обследования склонов).

Кроме известных в мире экспериментальных площадок с использованием дистанционных методов мониторинга лавин, в России один из таких методов утвержден в руководящем документе (РД 52.37.789–2013, 2013). Согласно РД 52.37.789-2013, разработанном Федеральным государственным бюджетным учреждением «Высокогорный геофизический институт» (ФГБУ «ВГИ») Росгидромета, для дистанционного определения толщины снежного покрова в лавинных очагах может использоваться лазерный дальномер. В качестве возможного варианта в методике рассмотрено применение тахеометра Leica TS09ultra 1"Arctic, позволяющего проводить измерения толщины снега на расстояниях до 1 км.

Лазерные сканеры могут эффективно применяться для съёмки лавиноопасных участков. Такие сканеры дают наиболее точную и полную информацию о пространственном объекте – лавиноопасном склоне, создавая при сканировании облако точек с координатами (Сканер Ortech ILRIS-LR). Примером использования такой технологии для мониторинга лавин может быть лазерный сканер Ortech ILRIS-LR, конструкция которого позволяет сканировать лед, снег и мокрые поверхности.

Область исследования. Нами был создан прототип автономной автоматизированной

мониторинговой системы лавинной опасности с возможностью раннего прогнозирования и предупреждения схода лавины. Для тестирования в реальных условиях прототип был размещен на лавиноопасном участке в Глубоковском районе Восточно-Казахстанской области, недалеко от поселка Горная Ульбинка. Наблюдение за лавинами здесь осуществляют сотрудники ГУ «Казселезащита», проходя снегомерный маршрут вдоль небольшой реки Проходная. По снегомерному маршруту в лавиносборах расположены снегомерные рейки для измерения высоты снежного покрова. Все рейки представляют собой металлическую шпалу с черными и белыми делениями по 10 см. Рейки имеют нумерацию, наблюдения ведутся в ручном режиме. Прототип системы мониторинга размещен в лавиносборе с рейкой № 22. Схема размещения показана на рис. 1. Прямоугольник «а» представлен в укрупненном масштабе на рис. 2. Координаты размещения прототипа $49^{\circ}57'30''N$ $82^{\circ}58'32''E$.

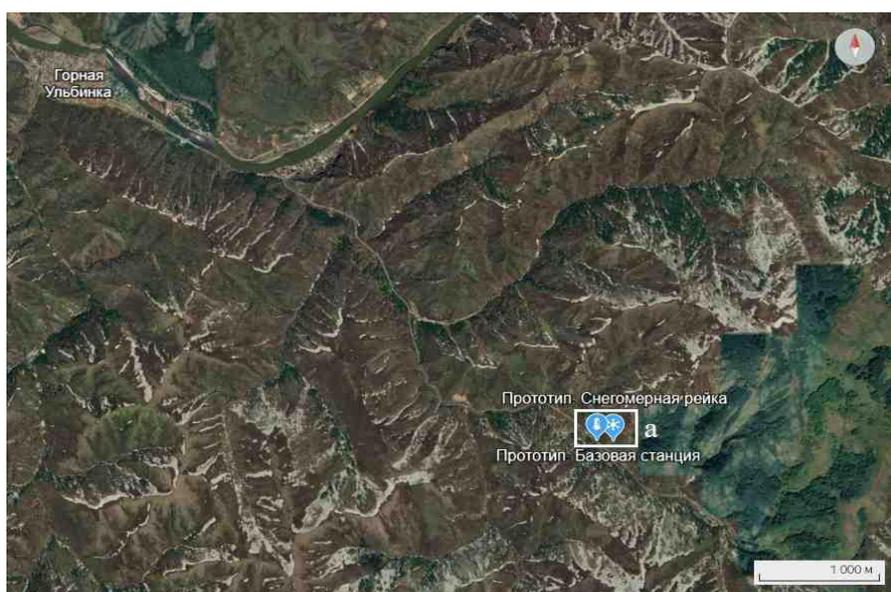


Рисунок 1. Схема размещения прототипа системы мониторинга на снегомерном маршруте реки Проходная

Примечание – составлено авторами

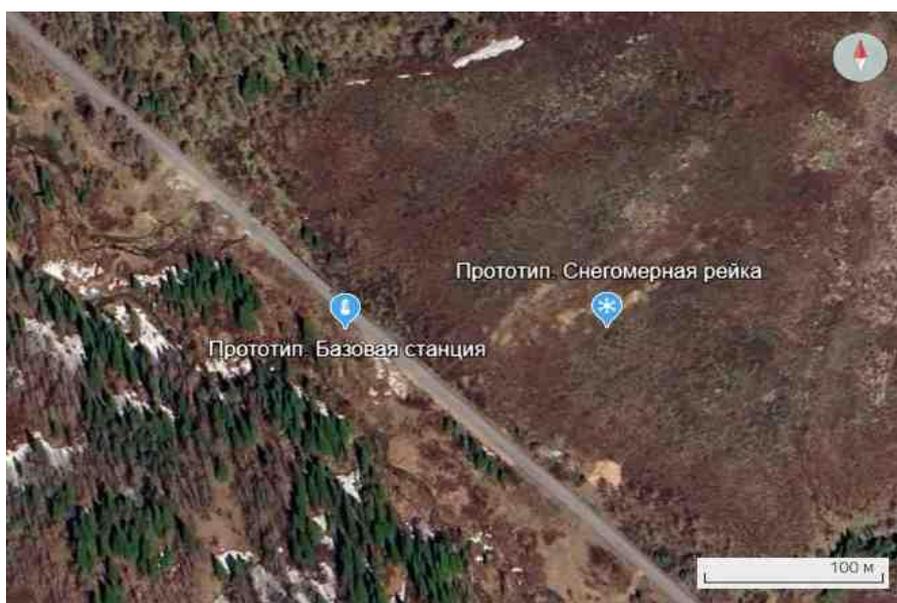


Рисунок 2. Схема размещения прототипа системы мониторинга в лавиносборе

Примечание – составлено авторами

На данном участке сход лавин определяется условиями рельефа и погоды. Высота расположения лавиносбора над уровнем моря – 560-730 м; морфологический тип – эрозийный врез; экспозиция склона – южная; крутизна склона – 26-30° (рис. 3). Морфометрия лавиносбора: длина – 200 м, ширина – 90 м, площадь – 15 500 м²; морфометрия лотка: длина – 155 м, ширина – 55 м, площадь – 5300 м². Поверхность задернована, почвенный горизонт 15-20 см, до 50 см. Осыпей не наблюдается. Растительный покров: кустарник, разнотравье. Объекты в зоне воздействия: автодорога (рис. 4).

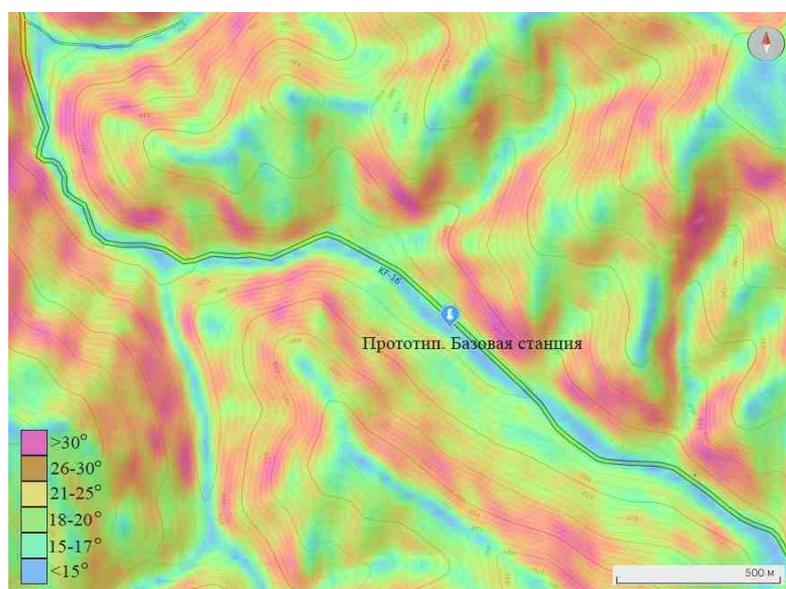


Рисунок 3. Уклоны местности в месте размещения прототипа

Примечание – составлено авторами



Рисунок 4. Растительный покров лавиносбора

Примечание – составлено авторами

Особенности рельефа и микроклимата данной территории способствуют ветровому переносу снега с наветренной стороны склона в эрозионный врез, где происходит его накопление (рис. 5). В результате большой массы снега в лотке и формирования неустойчивых состояний снежного покрова при потеплении и ветре возможен самопроизвольный сход лавины.



Рисунок 5. Лоток лавиносбора осенью и накопление снега в лотке зимой

Примечание – составлено авторами

Методы исследования. Основными составляющими системы мониторинга лавин, создаваемой в рамках данного проекта, являются (рис. 6):

- снеголавинная станция;
- температурная снегомерная рейка;

- API (application programming interface) сервис для сохранения погодных и климатических параметров в базу данных;
- веб-интерфейс системы мониторинга лавинной опасности.

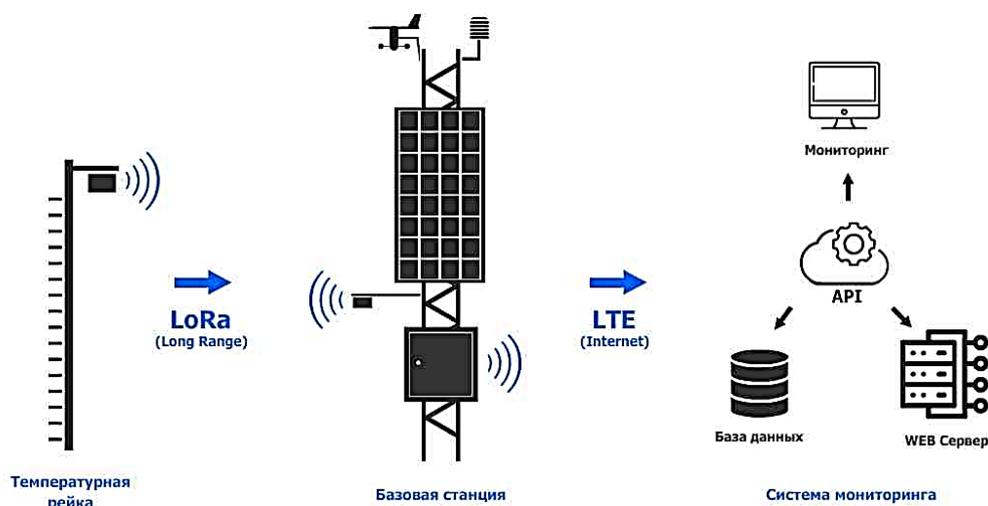


Рисунок 6. Схема системы мониторинга лавинной опасности

Примечание – составлено авторами

Снеголавинная базовая станция представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из датчиков и оборудования, осуществляющих сбор информации о ключевых погодных и климатических параметрах для обеспечения эффективного мониторинга и передачи данных в реальном времени. Перечень оборудования, установленного на прототипе снеголавинной станции, представлен в табл. 1. В перечень получаемых погодных и климатических параметров входят:

- скорость ветра;
- направление ветра;
- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- атмосферное давление;
- высота снежного покрова;
- температурный градиент снежного покрова.

Таблица 1. Оборудование станции

№	Наименование	Описание
1	Data Logger Ser[LOG] Plus	Предназначен для записи, хранения и анализа данных, поступающих от различных сенсоров, датчиков или внешних источников. Энергопотребление: 10-30 В постоянного тока. Интерфейс: 5 x RS 485; 6 x RS 422; 4 x RS 232; USB-Device; USB-Host; Ethernet. Поддерживаемые протоколы: SDI-12, Modbus RTU, Modbus TCP, NMEA. Есть поддержка отправки данных по протоколу HTTPS и MQTT.
2	Датчик ветра ДВМ-6410	Предназначен для измерения скорости воздушного потока и направления ветра для автономной работы или в составе метеорологических станций и комплексов. Поддерживаемые протоколы: Modbus-RTU, NMEA-0183.

4	Сенсор температуры, влажности и давления THP[pro] - Temperature-Humidity-Pressure Sensor	Многофункциональное устройство, предназначенное для измерения температуры, влажности и атмосферного давления. Используется в различных приложениях, включая мониторинг окружающей среды, системы контроля климата, умные здания, метеорологические станции и другие области, где требуется точное измерение этих параметров. Поддерживаемые протоколы: SDI-12, NMEA, Modbus.
5	Солнечная панель OSDA Solar 380M ODA380-30-MH (Half-Cell)	Монокристаллическая солнечная панель. Класс качества – Grade A, Максимальная мощность (P _{тах}) – 380 Вт. Диапазон рабочей температуры, °C – от -40 до +85. Рама – анодированный алюминий. Размер – 1755x1038 мм.
6	Аккумулятор (2 шт) VEKTOR GPL 12-75	Тип AGM, емкость АКБ (С20) - 75 Ач, номинальное напряжение АБ – 12 В, внутреннее сопротивление – 6 мОм, саморазряд – 3 %, тип клемм – под болт М6 (Т6, Т7, Т13, В4, В5), максимальный ток заряда – 22,5 А, максимальный ток разряда – 750 А, диапазон температуры разряда, °C – от -20 до +60.
7	Контроллер заряда для солнечных панелей SRNE SR-ML2420 MPPT	MPPT контроллер заряда солнечных батарей на 20 А, разработан для фотоэлектрических систем на 12/24 В. Максимальная мощность солнечных панелей – 260/520 Вт. Контроллер оптимизирует процесс заряда, не допуская перезаряда аккумуляторов.
8	Автоматические выключатели (2 шт) ВА 47-29	Предназначены для защиты распределительных и групповых цепей, имеющих различную нагрузку.
9	Реле времени 12-240В AC/DC IEK	Предназначено для автоматического включения электротехнического оборудования с задержкой после подачи команды на включение.

Окончание табл. 1

№	Наименование	Описание
10	Роутер LTE/Wi-Fi-роутер iRZ RL25w	Предназначен для передачи данных с использованием сети сотовой связи. 4 LAN-порта, LTE 4G режим, 2 SIM-карты, интерфейсы RS-232 и RS-485, 15 выводов GPIO и встроенный Wi-Fi.
11	Шкаф уличный всепогодный 12U	Предназначен для размещения автономно функционирующего активного и пассивного оборудования, поддержания заданного температурного режима внутри шкафа при эксплуатации
12	DC-DC преобразователь	Предназначен для обеспечения стабильного питания микроконтроллера Heltec LoRa 32, интегрированного в систему мониторинга, используется для понижения напряжения с 12 В, подаваемых от аккумуляторной батареи, до 5 В.
13	Антенно-мачтовое сооружение СТ-А3Т	Ферменная мачта из набора алюминиевых секций длиной 3 метра с треугольным сечением. Служит для использования навесного оборудования увеличенной массы, выдерживает экстремальные погодные условия, такие как сильные ветра, снеговые нагрузки и температурные колебания, что крайне важно в горных условиях.
14	Лазерный дальномер HI50	Предназначен для быстрого определения расстояния с миллиметровой точностью. С его помощью осуществляется измерение высоты снежного покрова.
15	Модуль беспроводной связи Heltec LoRa 32	Используется для передачи данных в нелицензируемом диапазоне частот.
16	Молниезащита	Состоит из антенны, камеры, молниеприёмника, заземления. Предназначена для защиты мачты и навесного оборудования от удара молнии.

Примечание – составлено авторами

Источником данных о скорости и направлении ветра является датчик ветра ДВМ-6410. Для измерения температуры, влажности и атмосферного давления используется сенсор TNP[pro] Temperature-Humidity-Pressure Sensor в защитном кожухе Sensor shelter (Рис. 7).



Рисунок 7. Размещение датчиков и сенсоров на базовой станции

Примечание – составлено авторами

Показания датчиков передаются на регистратор данных Ser[LOG] Plus по протоколу Modbus. Данный логгер поддерживает подключение и работу с множеством различных датчиков: от датчиков температуры и влажности до более сложных метеорологических сенсоров, таких как барометры, анемометры и другие устройства. Устройством поддерживаются различные методы подключения, включая интерфейсы RS-232, RS-485, USB и аналоговые входы. Регистратор может собирать данные в реальном времени, а также поддерживать режимы периодического или событийного сбора данных. Он может хранить данные в своей памяти или передавать их на внешний сервер.

Ниже представлен код, исполняемый на LTE/Wi-Fi-роутере, реализующий функциональность прокси-сервера, который принимает HTTP-запросы на локальном хосте, изменяет параметры заголовков запроса и пересылает его на удалённый API-сервер с использованием SSL-соединения.

```
import socket
import ssl
from struct import pack, unpack, unpack_from

def send_via_ssl_socket(packet : bytes):
    HOST, PORT = "ApiHost", 0001
    sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    sock.settimeout(10)
    sock.connect((HOST, PORT))
    sock.send(packet.encode("utf-8"))
    sock.close()

ssock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
ssock.bind(("0.0.0.0", 5000))
```

```
ssock.listen()
try:
    while True:
        con, addr = ssock.accept()
        packet = con.recv(1024).decode().replace("Host: 192.168.1.11:5000", "Host:
ApiHost:0001")
        con.send(
            """HTTP/1.1 200 OK
Server: Werkzeug/3.0.1 Python/3.10.12
Date: Wed, 04 Dec 2024 07:00:46 GMT
Content-Type: text/html; charset=utf-8
Content-Length: 4
Connection: close

true"""
            .encode("utf-8")
        )
        send_via_ssl_socket(packet)
except KeyboardInterrupt:
    ssock.close()
```

Все агрегированные регистратором показания датчиков преобразуются в удобный для передачи JSON формат и с периодичностью 15 минут отправляются по протоколу HTTP на API-сервис “AvaAPI”, разработанный в рамках текущего проекта (Зуев, Федькин, Спивак, Машаев, Денисова, Петрова, Четтыкбаев, 2024). Сервер "AvaAPI" принимает запрос, проводит авторизацию, валидирует переданные данные и сохраняет их в базу для дальнейшего анализа (рис. 6). Процесс передачи данных между логгером и API-сервисом обеспечивается по LTE интернет-соединению через роутер iRZ RL25w.

Автономность системы обеспечивается использованием солнечной панели OSDA Solar 380M ODA380-30-MH с пиковой мощностью 380 Вт, работающей в связке с двумя аккумуляторными батареями емкостью 75 А·ч каждая. Управление зарядом аккумуляторов осуществляется через контроллер SRNE SR-ML2420 MPPT, который оптимизирует производительность солнечной панели.

Основное оборудование, за исключением датчиков, размещено во всепогодном уличном шкафу 12U (рис. 8), который защищает аппаратуру от неблагоприятных погодных условий и поддерживает заданный температурный режим. Сам шкаф с оборудованием и датчики смонтированы на ферменной мачтовой конструкции высотой шесть метров.

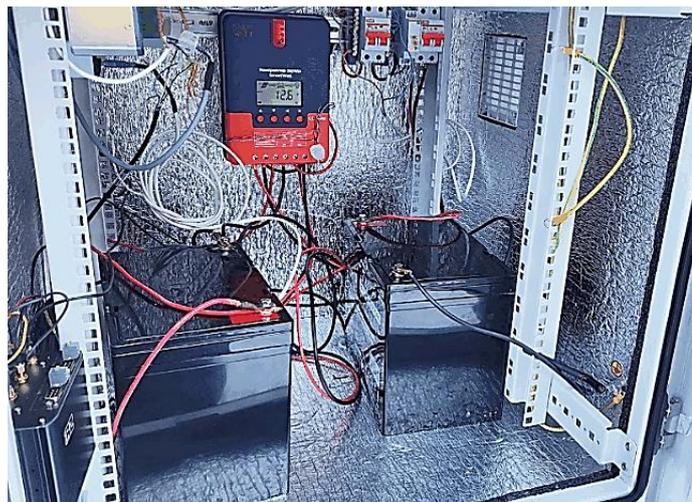


Рисунок 8. Оборудование уличного всепогодного шкафа

Примечание – составлено авторами

Кроме погодных и климатических параметров важным для мониторинга и прогнозирования лавинной опасности является информация о снежном покрове. Сбор этих параметров обеспечивается температурными снегомерными рейками (рис. 9) и микроконтроллером Heltex LoRa 32 в паре с лазерным дальномером, установленным непосредственно на базовой станции, который является приемником данных со снегомерных реек. Дальность передачи данных LoRa-сигналом зависит от ряда факторов, включая частоту, местность, условия окружающей среды и мощность сигнала. В условиях хорошей видимости и при использовании оптимальной антенны, устройство может передавать данные до 30 км (в условиях прямой видимости).

Температурные снегомерные рейки являются автономными устройствами, интегрированными в систему мониторинга. Каждая рейка базируется на микроконтроллере CubeCell – AV01 Dev-Board (V2) и оснащена рядом ключевых компонентов (рис. 10, табл. 2) для сбора и передачи данных.

Температурная снегомерная рейка включает в себя: лазерный дальномер HI50, предназначенный для высокоточного измерения высоты снежного покрова; 18 температурных датчиков DS18B20, установленных на вертикальной рейке с шагом 10 см, что позволяет получать подробные данные о температурных слоях снежного покрова; два литий-полимерных аккумулятора емкостью 10000 мАч, обеспечивающих энергоавтономность устройства; две солнечные панели размером 60×60 мм с выходным током 80 мА, которые поддерживают заряд аккумуляторов и продлевают срок работы устройства в автономном режиме.



Рисунок 9. Температурная снегомерная рейка, установленная на склоне

Примечание – составлено авторами

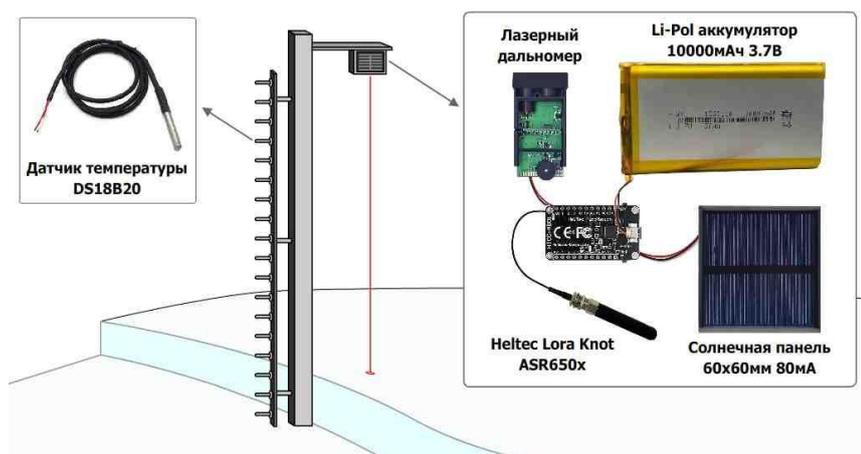


Рисунок 10. Оборудование температурной снегомерной рейки

Примечание – составлено авторами

Температурные снегомерные рейки осуществляют сбор данных о высоте снега, температурном градиенте снежного покрова и напряжении на аккумуляторе. Собранные данные передаются каждые 15 минут с использованием протокола беспроводной связи LoRa (Long Range) на частоте 433 МГц на приемник, расположенный на базовой снеголавинной станции (рис. 11).

Таблица 2. Оборудование на снегомерной рейке

№	Наименование	Описание
1	Микроконтроллер CubeCell – AB01 Dev-Board (V2)	Микроконтроллер с интегрированным модулем LoRa для беспроводной передачи данных. Модуль LoRa (Long Range) используется для связи на больших расстояниях при низком потреблении энергии для

		применения в удалённых областях с плохим покрытием сотовых сетей.
2	Солнечные панели (2 шт)	Панели размером 60х60мм, 80мА, 5.5В 0.44Вт. Они обеспечивают зарядку встроенной батареи, что позволяет работать устройству в автономном режиме.
3	Литий-полимерный аккумулятор (2шт)	Аккумулятор на 10000 мАч, 3.7 В - источник питания для портативных устройств, имеет высокую ёмкость и компактность.
4	Лазерный дальномер HI50	Предназначен для определения расстояний с использованием лазерной технологии. Диапазон измерения расстояний от 0,02 до 50 м, питание 3 В. Имеет высокую точность измерений ± 1.5 мм.
5	Датчик температуры водонепроницаемый DS18B20 с кабелем (18шт)	Датчик представляет собой цифровой термометр, использующий технологию 1-Wire, что означает, что для передачи данных используется один провод. Это упрощает подключение и позволяет подключать несколько датчиков к одному порту. Датчик производит точные измерения температуры, преобразуя её в цифровой сигнал, который легко считывается с помощью микроконтроллеров, таких как Arduino, Raspberry Pi или других устройств.
<i>Примечание – составлено авторами</i>		



Рисунок 11. Приемник данных с температурной снегомерной рейки

Примечание – составлено авторами

Данные температурной снегомерной рейки визуализируются в многоцветный температурный график (рис. 12).

Роль приемника на базовой станции выполняет микроконтроллер Heltec LoRa 32, который также оснащен лазерным дальномером HI50 (табл. 3). Это позволяет устройству совмещать функции измерения высоты снежного покрова и приема данных от температурных реек. Микроконтроллер агрегирует данные в своей памяти и с интервалом в 15 минут передает их на API-сервис "AvaAPI". Передача данных осуществляется через Wi-Fi-соединение между Heltec LoRa 32 и LTE/Wi-Fi-роутером iRZ RL25w, который обеспечивает подключение к сети интернет.

Прототип системы мониторинга лавинной опасности состоит из базовой станции – мачты с навесным оборудованием и температурной снегомерной рейки (рис. 13).

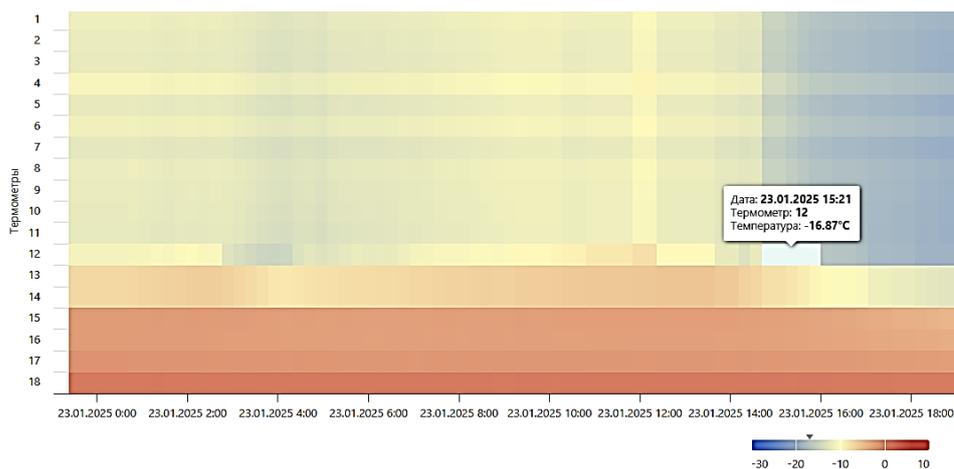


Рисунок 12. Визуализация данных с температурной снегомерной рейки

Примечание – составлено авторами

Таблица 3. Оборудование на приемнике данных с температурной снегомерной рейки

№	Наименование	Описание
1	Модуль беспроводной связи Heltec LoRa 32	Компактное и энергоэффективное устройство, предназначенное для применения в IoT (Интернет вещей) приложениях. Оснащено технологией LoRa для беспроводной передачи данных на большие расстояния при низком энергопотреблении. Поддерживает различные интерфейсы для подключения внешних устройств (например, I2C, UART, SPI и другие), что расширяет возможности для интеграции с различными сенсорами и модулями. Плата поддерживает подключение к сетям Wi-Fi с диапазоном частот 2.4 GHz, что позволяет использовать её в сетях с передачей данных на большие расстояния и обмениваться данными через интернет. Имеет интегрированный OLED-дисплей для удобного отображения данных.
2	Лазерный дальномер HI50	Компактное и точное измерительное устройство, предназначенное для определения расстояний с использованием лазерной технологии. Имеет высокую точность измерений ± 1.5 мм.

Примечание – составлено авторами



Рисунок 13. Прототип системы мониторинга лавинной опасности

Примечание – составлено авторами

На лавиноопасном участке может быть уставлено несколько снегомерных реек. Базовая станция может быть установлена в границах лавиноопасного участка недалеко от лавиносбора. Это обеспечит сбор актуальных для участка метеоданных и сохранность базовой станции от лавины. Температурные снегомерные рейки, напротив, могут быть установлены в местах, где необходим контроль высоты снега, например непосредственно в лавиносборе или в зоне активного ветрового переноса снега.

Заключение. Таким образом, для мониторинга лавинной опасности целесообразно использовать автономные программно-аппаратные комплексы, которые обеспечивают сбор метеоданных, сведения о снежном покрове и передачу данных или связь с серверной инфраструктурой, на базе которой можно выполнять аналитическую обработку полученных данных и прогнозировать вероятный сход лавин.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Данное исследование проводилось в рамках научно-технической программы ПЦФ BR21882022 «Исследование лавинной активности в Восточно-Казахстанской области для разработки систем мониторинга и научного обоснования их размещения» на 2023-2025 годы.

«Уведомление об использовании генеративного ИИ и технологиях с его помощью в процессе написания рукописи». При подготовке данной работы авторы не использовали генеративный ИИ.

Список литературы

- Bourova-Flin E., Maldonado E., Leroy J.-B., Alouani R., Eckert N. Bonnefoy-Demongeot M., Deschatres M. A new web-based system to improve the monitoring of snow avalanche hazard in France, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2016, 16, 1205-1216, <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1205-2016>.
- Bian R, Huang K, Liao X, Ling S, Wen H, Wu X. Snow avalanche susceptibility assessment based on ensemble machine learning model in the central Shaluli Mountain Front, *Earth Sci.*, 2022, 10:880711, <https://doi.org/10.3389/feart.2022.880711>.
- Кочетова Т.В. Методы прогноза лавинной опасности на примере прилегающих районов Эльбруса // Форум молодых ученых, 2019, 6 (34). – С. 632-639. // Kochetova T.V. Metody prognoza lavinnoj opasnosti na primere prilgayushchih rajonov El'brusa // Forum molodyh uchenyh, 2019, 6 (34). – S. 632-639.
- Bois P., Obled C., Good W. Multivariate data analysis as a tool for day-by-day avalanche forecast. International Association of Hydrological Sciences Publication 114 (International symposium on snow mechanics), Grindelwald, Switzerland, 1974, 391-403.
- Xi N., Me G. Avalanche susceptibility mapping by investigating spatiotemporal characteristics of snow cover based on remote sensing imagery along the Pemo Highway—a critical transportation road in Tibet, China, *Water*, 2023, 15(15), 2743, <https://doi.org/10.3390/w15152743>.
- Buser O. Two Years Experience of Operational Avalanche Forecasting using the Nearest Neighbours Method. *Ann. Glaciol.* 1989, 13, 31–34, <https://doi.org/10.3189/S026030550000759X>.
- Christen M., Bartelt P., Gruber U. AVAL-1D: An avalanche dynamics program for the practice. Conference proceedings "Protection of habitat against floods, debris flows and avalanches" (1st congress "Interpraevent in the Pacific Rim"), Matsumoto, Japan, 2002, 715–725.
- Sampl P., Zwinger T. Avalanche simulation with SAMOS, *Ann. Glaciol.*, 2004, 38, 393–398, <https://doi.org/10.3189/172756404781814780>.
- Christen M., Kowalski J., Bartelt P. RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain, *Cold Reg. Sci. Technol.*, 2010, 63, 1–14, <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2010.04.005>.
- Singh D.K., Gusain H.S., Mishra V.D., Gupta N. Avalanche Hazard Mitigation in Western & Central Himalaya-II, Defence Research and Development Organisation, 2019
- Пьянков С.В., Шихов А.Н., Михайлюков П.Г. Моделирование снегонакопления и снеготаяния в бассейне р. Кама с применением данных глобальных моделей прогноза погоды, *Лёд и Снег*. 2019, 59(4). - 494-508, <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-4-423>. // P'yankov S.V., SHihov A.N., Mihajlyukov P.G. Modelirovanie snegonakopleniya i snegotayaniya v bassejne r. Kama s primeneniem

- danyh global'nyh modelej prognoza pogody, Lyod i Sneg. 2019, 59(4). - 494-508, <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-4-423>.
- Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Жданов В.В. Инновационные технологии оценки и прогноза уровня лавинной опасности в горах Иле Алатау, Хабаршы. География сериясы, 2021, №2 (61). - С.76-87 <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v61.i2.07>. // Medeu A.R., Blagoveshchenskij V.P., Zhdanov V.V. Innovacionnyye tekhnologii ocenki i prognoza urovnya lavinnoj opasnosti v gorah Ile Alatau, Habarshy. Geografiya seriyasy, 2021, №2 (61). – S.76-87 <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v61.i2.07>.
- Предупреждения о лавинах компании «СенсАльпин», Lawinenwarnung-Schneemeteorologie // [Электронный ресурс] URL: <https://www.sensalpin.ch/messnetze/imis/> (дата обращения 31.01.2025) // Preduprezhdeniya o lavinah kompanii «SensAl'pin», Lawinenwarnung-Schneemeteorologie // [Elektronnyj resurs] URL: <https://www.sensalpin.ch/messnetze/imis/> (data obrashcheniya 31.01.2025).
- Alpine Automated Weather Instrumentation // [Electronic resource] URL: <https://www.campbellsci.co.uk/alpine-weather> (date of request 31.01.2025).
- Лавинный радар компании «Геопраевент»// [Электронный ресурс] URL: <https://www.geopraevent.ch/technologies/avalanche-radar/?lang=en> (дата обращения 31.01.2025). // Lavinnyj radar kompanii «Geopraevent»// [Elektronnyj resurs] URL: <https://www.geopraevent.ch/technologies/avalanche-radar/?lang=en> (data obrashcheniya 31.01.2025).
- Устройство акустического обследования склонов// [Электронный ресурс] URL: <https://www.ski.ru/az/blogs/post/novyi-variant-prognozirovaniya-lavinnoi-opasnosti/> (дата обращения 31.01.2025). // Ustrojstvo akusticheskogo obsledovaniya sklonov // [Elektronnyj resurs] URL: <https://www.ski.ru/az/blogs/post/novyi-variant-prognozirovaniya-lavinnoi-opasnosti/> (data obrashcheniya 31.01.2025).
- РД 52.37.789–2013 Методика дистанционного определения толщины снежного покрова в лавинных очагах с использованием лазерного дальномера. Нальчик ООО «Полиграфсервис и Т», 2013. – 31 с. // RD 52.37.789–2013 Metodika distancionnogo opredeleniya tolshchiny snezhnogo pokrova v lavinnyh ochagah s ispol'zovaniem lazernogo dal'nometra. Nal'chik ООО «Poligrafservis i T», 2013 – 31 s.
- Сканер Optech ILRIS-LR// [Электронный ресурс] URL: <https://www.jena.ru/catalog/19/45.html> (дата обращения 31.01.2025) // Skaner Optech ILRIS-LR // [Elektronnyj resurs] URL: <https://www.jena.ru/catalog/19/45.html> (data obrashcheniya 31.01.2025).
- Зуев В.Н., Федькин Е.М., Сливак Д.А., Машаев Е.Ж., Денисова Н.Ф., Петрова О.А., Четтыкбаев Р.К. Программа для ЭВМ AvaLog API. Авторское свидетельство № 48238, от «9» июля 2024 года // Zuev V.N., Fed'kin E.M., Spivak D.A., Mashaev E.ZH., Denisova N.F., Petrova O.A., CHettykbaev R.K. Programma dlya EVM AvaLog API. Avtorskoe svidetel'stvo № 48238, ot «9» iyulya 2024 goda

Information about authors

Zuev Vitaly Nikolaevich – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 19 Serikbayeva St., Ust-Kamenogorsk, 070010, Head of the Department of Support and Information Technologies at D. Serikbayev EKTU, tel. 87014911657, e-mail: VZuev@edu.ektu.kz

Mashayev Yerbolat Zhomartovich – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 19 Serikbayeva St., Ust-Kamenogorsk, 070010, engineer of the second category of the highest qualification level of the Department of Support and Information Technology of the Department of Information Technology, tel. 87771789819, e-mail: YMashayev@edu.ektu.kz

Spivak Dmitriy Alexeevich – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 19 Serikbayeva St., Ust-Kamenogorsk, 070010, Engineer of the Department of Support and Information Technology of the Department of Information Technology, tel. 87476109254, e-mail: DSpivak@edu.ektu.kz

Daumova Gulzhan Kamalbekkyzy – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 070010, Ust-Kamenogorsk, Serikbayev st 19, Professor of the School of Earth, tel. 8-777-396-12-47, e-mail: GDaumova@edu.ektu.kz*

Petrova Olga Anatolievna – D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, 19 Serikbayeva St., Ust-Kamenogorsk, 070010, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the School of Geosciences, tel. 87778490016, e-mail: OPetrova@edu.ektu.kz