

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР  
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ  
INFORMATION SYSTEMS

DOI 10.51885/1561-4212\_2024\_2\_124  
MPHTI 20.23.27

**Н.Ф. Денисова<sup>1</sup>, Е.М. Федькин<sup>2</sup>, Е.Ж. Машаев<sup>3</sup>, Д.А. Спивак<sup>4</sup>, О.А. Петрова<sup>5</sup>**

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

<sup>1</sup>E-mail: NDenisova@edu.ektu.kz\*

<sup>2</sup>E-mail: Evgeny.Fedkin@ektu.kz

<sup>3</sup>E-mail: YMashayev@edu.ektu.kz

<sup>4</sup>E-mail: DSpivak@edu.ektu.kz

<sup>5</sup>E-mail: OPetrova@edu.ektu.kz

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АКТИВНОСТИ ЛАВИНОСБОРОВ В ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

### ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНДАҒЫ ҚАР КӨШКІНІ БЕЛСЕНДІЛІГІНІҢ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІ ҮШІН ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫН ЖОБАЛАУ

### DESIGNING A DATABASE FOR AN AVALANCHE ACTIVITY MONITORING SYSTEM IN THE EAST KAZAKHSTAN REGION

**Аннотация.** Для проведения мониторинга и прогнозирования лавинной активности необходима обработка больших данных, причем формирование данных может происходить из разных источников: метеорологические данные из открытых баз данных (БД) регионального уровня – Национальной гидрометеорологической службы Казахстана, международного уровня – World Weather Information Service, данные спутников Sentinel (Европейского космического агентства), данные с оперативных журналов ТОО «Казселезащита», данные приборов учетов, установленных на лавинных участках, метаданные (фото, видео материалы и 3D-модели склонов) и другие.

Важной задачей для дальнейшего прогнозирования лавинной активности является правильное проектирование БД лавиносборов. В данном исследовании спроектирована инфологическая модель БД, что позволит в дальнейшем применять традиционные методы прогнозирования схода лавин и методов машинного обучения.

В результате нами были выявлены информационные объекты (сущности) и построена инфологическая модель БД (ER-диаграмма), на основе которых спроектирована БД для системы мониторинга и прогнозирования лавинной активности ВКО. Также определены источники данных и технологии получения данных.

**Ключевые слова:** лавиносбор, база данных, инфологическая модель, система мониторинга, ER-диаграмма

**Аңдатпа.** Көшкін белсенділігіне мониторинг жүргізу және болжау үшін көлемді мәліметтерді өңдеу қажет, бұл ретте мәліметтердің қалыптасуы әртүрлі көздерден болуы мүмкін: өңірлік деңгейдегі – Қазақстанның Ұлттық гидрометеорологиялық қызметінің ашық мәліметтер базасынан (МБ), халықаралық деңгейдегі – World Weather Information Service метеорологиялық деректері, Sentinel (Еуропалық ғарыш агенттігі) спутниктерінің деректері, «Қазселденқорғау» ЖШС жедел журналдарынан алынған мәліметтер, көшкін учаскелерінде орнатылған есепке алу приборлардан мәліметтері, метамәліметтер (фото, видео материалдар және беткейлердің 3D модельдері) және басқалары.

Қар көшкіні белсенділігін одан әрі болжаудың маңызды міндеті – қар көшкіні жинақтағыштарының дерекқорын дұрыс жобалау болып табылады. Бұл зерттеуде көшкіннің түсуін болжаудың дәстүрлі әдістерін және машиналық оқыту әдістерін одан әрі қолдануға мүмкіндік беретін МБ инфологиялық моделі жобаланды.

Нәтижесінде ақпараттық объектілер (нысандар) анықталынып және МБ инфологиялық моделі (ER - диаграмма) құрылды, олардың негізінде ШҚО көшкін белсенділігінің мониторингі және

болжау жүйесі үшін МБ әзірленді. Және де мәліметтер көздері мен мәліметтерді алу технологиялары анықталды.

**Түйін сөздер:** көшкін жинақтағыш, мәліметтер базасы, инфологиялық модель, мониторинг жүйесі, ER-диаграмма

**Abstract.** To monitor and predict avalanche activity, big data processing is necessary, and data formation can occur from different sources: meteorological data from open databases (DB) of the regional level – the National Hydrometeorological Service of Kazakhstan, international level - World Weather Information Service, Sentinel satellite data (European Space Agency), data from operational logs of LLP Kazselezashchita, data from metering devices installed on avalanche sites, metadata (photo, video materials and 3D models of slopes) and others.

An important task for further forecasting of avalanche activity is the correct design of the avalanche collection database. In this study, an infological database model has been designed, which will allow further application of traditional methods of avalanche forecasting and machine learning methods.

As a result, we identified information objects (entities) and built an infological database model (ER diagram), on the basis of which a database was designed for a system for monitoring and forecasting avalanche activity in East Kazakhstan region. Data sources and data acquisition technologies have also been identified.

**Keywords:** avalanche-prone area, database, infological model, monitoring system, ER-diagram

*Введение.* Одной из самых опасных ситуаций, которые могут происходить в горной местности в зимний период, является сход снежных лавин. Сход снежных лавин может повлечь значительный экономический ущерб и привести к возникновению чрезвычайных ситуаций. В связи с этим возникает задача мониторинга и прогнозирования схода лавин.

Природа схода лавин определяется взаимосвязью между складывающимися метеорологическими условиями местности и свойствами снежного покрова на склоне. Устойчивость снежного покрова зависит от сцепления между снежными слоями. Качество сцепления может изменяться под воздействием различных факторов: температуры, ветра, влажности и др. Анализ этих зависимостей позволяет понять механизмы, приводящие к сходу снежных лавин, и на их основе повысить качество прогноза при проведении мониторинга.

Разработка системы мониторинга лавинной опасности должна основываться на сборе большого набора данных, требуемых для проведения прогнозирования схода снежных лавин. В большинстве случаев сбор данных производится ручным способом, что не позволяет собирать информацию в режиме реального времени и увеличивает вероятность ошибок при измерении. В связи с этим автоматизация сбора данных является важным этапом в создании системы мониторинга и прогнозирования лавинной опасности.

Сбор данных для систем мониторинга и прогнозирования схода снежных лавин должен осуществляться из разрозненных источников:

- сеть метеостанций, которые производят сбор данных по метеорологическим условиям в районе наблюдения [1];
- спутниковые данные (World Weather Information Service, Sentinel) [2];
- открытые источники данных, которые могут предоставлять данные посредством прикладного программного интерфейса (API) (данные Национальной гидрометеорологической службы Казахстана) [3];
- фото и видеоматериалы, полученные из различных источников (спутниковые снимки, системы фото-видеофиксации, установленные на участках схода лавин, 3D-модели с БПЛА и др.) [4-6];
- оперативные данные со специальных датчиков в местах схода лавин [7-9];
- альбомы и перечни лавиноопасных участков, составляемые профильными организациями, на которые возлагается контроль за лавиноопасной ситуацией [10].

Указанные источники данных являются основными для создания систем мониторинга и прогнозирования схода лавин. Помимо них могут использоваться и другие специфические источники, которые позволяют повысить качество мониторинга и прогнозирования лавиноопасной ситуации [1].

На сегодня существует множество методов, которые применяются для прогнозирования схода снежных лавин [1]:

- традиционные методы, которые предполагают использование алгоритмов прогнозирования лавинной активности на основе некоторой математической модели. Применение данных методов связано со сложностью их реализации, так как разрабатываемые математические модели не имеют четких математических зависимостей и для их применения требуются данные, поступающие в режиме реального времени;

- методы машинного обучения, которые строятся на основе большого набора исходных данных, собранных в рамках наблюдения за лавиносборами. Данные методы позволяют выявить новые, неявные зависимости между данными наблюдения и, как следствие, решить большой спектр нестандартных задач, которые возникают при прогнозировании лавинной активности.

*Литературный обзор.* 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 [11] 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 БД, 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 R, Huang K, Liao X, Ling S, Wen H and Wu X. Исследователи изучили центральную часть гор Шалули, провинция Сычуань, Китай [12]. 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 [12].

Многие исследователи используют данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) со спутника Sentinel-1. Так авторы Yang J., Li C., Li L., Ding J., Zhang R., Han T., Liu Y. [13] в рамках своего исследования выполнили оценку лавинной опасности на основе анализа изображений, полученных со спутника Sentinel-1. Для прогнозирования схода лавин в горах Западного Тянь Шаня (Китай) авторами разработана математическая модель, включающая 6 индексов. В работе авторов Markus Eckerstorfer, Hannah Vickers, Eirik Malnes and Jakob Grahm представлена автоматическая система мониторинга лавин, работающая в реальном времени. Данная система обнаруживает лавиноопасность сопоставляя данные изображений Sentinel-1 за пять лет на территории в Северной Норвегии [14].

Непрерывный мониторинг снежных лавин показан в работе [15] авторов James Fox, Anna Siebenbrunner, Sandra Reitingner, David Peer, Antonio Rodriguez-Sanchez. В статье описываются методы дистанционного обнаружения лавин с уточнением данных ДЗЗ в связи с длительным интервалом их получения со спутников Sentinel-1. В этом исследо-

вании предлагается новый подход к автоматизации обнаружения лавин посредством анализа видеопотоков с веб-камер с помощью модуля глубокого обучения.

Авторы Edme P., Paitz P., Walter F., van Herwijnen A., Fichtner A. [16] для исследования возможности схода лавин предлагают использовать данные распределенного акустического зондирования на основе оптоволоконных телекоммуникационных кабелей.

Способ прогнозирования снежной лавины, основанный на применении инфразвуковых волн, приводится исследователями Marchetti E., Ripere M., Olivieri G., Kogelnig A. в работе [17]. Предлагаемая методика основана на оценке пороговых критериев источников инфразвуковых волн и определения на их основе возможных сходов лавин.

Проанализировав международные исследования, можно сделать вывод, что одной из проблем для прогнозирования схода лавин является сбор и обработка данных из широкого круга источников. То есть важной задачей является проектирование базы или хранилища данных.

*Материалы и методы исследования.* Важным этапом в разработке системы мониторинга лавинной опасности, является создание БД. БД является совокупностью связанных данных, организованных по определенным правилам, предусматривающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными. Разработка концептуальной модели БД основана на анализе предметной области, выявлении сущностей и их атрибутов.

В ходе изучения существующих на сегодняшний день лавиносборов Восточно-Казахстанской области нами были определены следующие информационные сущности: район, лавинный участок, лавиносбор, метеоданные, морфологический тип, тип экспозиции склона, тип растительного покрова, растительный покров лавиносбора, степень лавинной опасности, прибор, параметр наблюдения, данные наблюдения, профилактические спуски, самосходы.

*Результаты и обсуждения.* В настоящей работе рассмотрены выявленные нами информационные сущности для разработки концептуальной модели с целью мониторинга лавинной опасности. Как было указано выше, нами были выделены следующие информационные сущности:

- Район – сведения о районе, где находятся лавиноопасные участки;
- Лавинные участки – данные по лавиноопасному участку в каком-либо районе Восточно-Казахстанской области;
- Лавиносбор – описание участка горного склона и дна долины, на котором образуется, движется и останавливается снежная лавина; имеет морфометрические показатели, такие как: длина, ширина, объем и крутизна склона, пространственные характеристики (геодезические координаты и экспозиция склона), морфологический тип, описание поверхности склона и растительного покрова. Все перечисленные показатели в совокупности с метеоданными влияют на вероятность схода снежных лавин;
- Тип экспозиции склона – описание типа пространственного расположения (по отношению к сторонам света) склона горы, горного хребта или холма;
- Тип растительного покрова – информация о возможном составе и структуре растительного покрова горных склонов: растений, кустарников и деревьев;
- Растительный покров лавиносбора – информация о типе растительного покрова, который имеется на определенном лавиносборе;
- Степень лавинной опасности – информация о вероятности схода лавин и периоде повторяемости их схода в течение года. Определенному диапазону этих параметров соответствует цифра от 1 до 4, означающая степень опасности;
- Морфологический тип – данные по типам морфологии склонов;
- Метеоданные – набор метеоданных в разрезе временного промежутка и района, которые влияют на вероятность схода снежных лавин;

- Прибор – информация по прибору наблюдения, который устанавливается на определенном лавиносборе для сбора данных наблюдения за лавинной опасностью;
- Параметр наблюдения – описание параметра наблюдения, которые могут быть получены с использованием приборов;
- Данные наблюдения – информация о полученных данных с какого-либо прибора в разрезе времени и типа параметра;
- Профилактические спуски – информация о проведенных профилактических спусках лавин на лавиносборе;
- Самосходы – сведения о произошедших самопроизвольных сходах лавин в лавиносборах;
- Визуальные материалы – визуальные материалы (фото, видео, спутниковые снимки, 3D-модели и др.), используемые для анализа и моделирования лавинной опасности;
- Привязка визуальных материалов к лавиносбору – привязка визуального материала к определенным лавиносборам.

Для информационных сущностей нами был определен их атрибутивный состав. Пример перечня атрибутов сущностей приведен в табл. 1.

**Таблица 1.** Пример атрибутивного состав информационных сущностей

Сущность	Атрибут	Описание атрибута	Тип
Район	Идентификатор района	Идентификатор сущности	Целое
	Наименование района	Текстовое наименование района	Строка
Лавинный участок	Идентификатор лавинного участка	Идентификатор сущности	Целое
	Идентификатор района	Идентификатор района нахождения лавинного участка	Целое
	Наименование лавинного участка	Текстовое наименование лавинного участка	Строка
	Идентификатор степени лавиноопасности	Идентификатор степени лавиноопасности, который характеризует периодичность и вероятность схода лавины для данного лавинного участка	Целое
	Идентификатор лавинного участка	Идентификатор сущности	Целое
Лавиносбор	Идентификатор лавиносбора	Идентификатор сущности	Целое
	Идентификатор лавинного участка	Идентификатор лавинного участка, в состав которого входит лавиносбор	Целое
	Наименование лавиносбора	Текстовое наименование лавиносбора	Строка
	Северная широта	Координата северной широты расположения лавиносбора	Числовой
	Восточная долгота	Координата восточной долготы расположения лавиносбора	Числовой

Окончание табл. 1

Сущность	Атрибут	Описание атрибута	Тип
Лавиносбор	Высота над уровнем моря	Высота над уровнем моря в метрах, на которой расположен лавиносбор	Числовой
	Идентификатор степени	Идентификатор степени лавиноопасности, который характеризует	Целое
	Морфологический тип	Идентификатор морфологического типа для данного лавиносбора	Целое
	Тип экспозиция склона	Идентификатор типа экспозиции склона для данного лавиносбора	Целое
	Крутизна склона	Угол крутизны склона лавиносбора	Целое
	Длина лавиносбора	Длина лавиносбора в метрах	Числовой
	Ширина лавиносбора	Ширина лавиносбора в метрах	Числовой
	Длина лотка	Длина лотка лавиносбора в метрах	Числовой
	Ширина лотка (м)	Ширина лотка лавиносбора в метрах	Числовой
	Описание поверхности	Краткое описание поверхности лавиносбора	Текст

Для понимания взаимодействия между выявленными ранее информационными сущностями на рис. 1 приведена ER-диаграмма, на которой представлены выявленные нами информационные объекты и связи между ними.

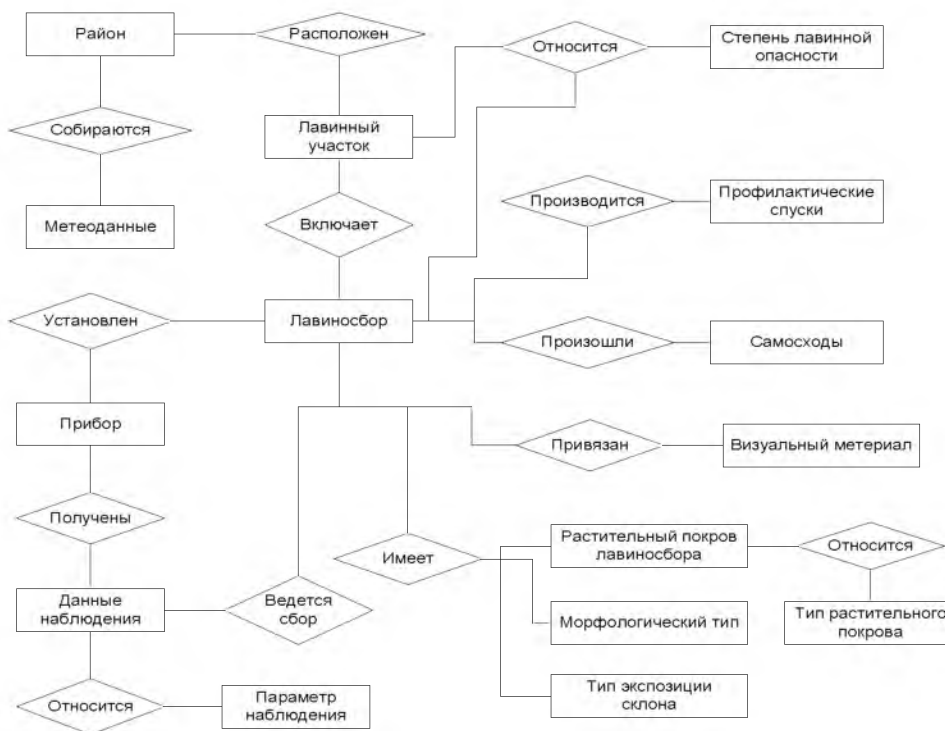


Рисунок 1. ER-диаграмма базы данных

Сбор данных для предлагаемой базы данных подразумевает их получение из различных источников. В нашем случае по источнику получения данные можно разделить на следующие виды:

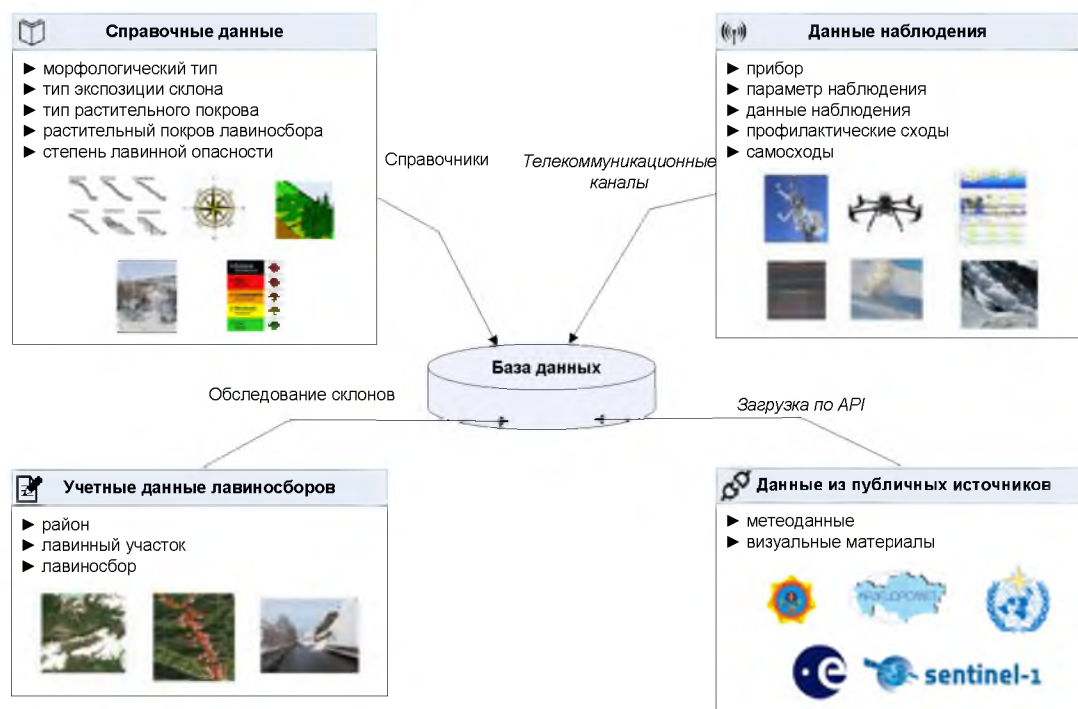
- справочные данные – данные, которые представляют собой справочники по различным видам;

- учетные данные по лавиносорам – данные, которые определяют сведения по наблюдаемым в системе мониторинга и прогнозирования лавинным участкам (оперативные журналы профилактических спусков и самосходов лавин ГУ “Казселезащита”);

- данные из публичных источников – данные, получаемые из публичных источников (БД Национальной гидрометеорологической службы Казахстана и др), которые требуются для проведения прогнозирования схода лавин на наблюдаемых участках;

- данные наблюдения, получаемые с различных приборов учета (стационарные приборы, БПЛА и др.) на определенном участке лавиносора.

Распределение информационных объектов разрабатываемой БД по источникам данных для наглядности представлено на рис. 2.



**Рисунок 2.** Распределение информационных объектов БД по источникам данных

Полученная в рамках данной части исследования инфологическая модель является основой для проектирования и реализации логической и физической моделей БД для информационной системы по оценке лавинной опасности. В данном исследовании в качестве системы управления БД используется Microsoft SQL Server. На рис. 3 приведена физическая модель разработанной нами БД.

Созданная в рамках данного исследования БД является основой для работы информационной системы по мониторингу, проведению анализа и прогнозированию лавинной опасности на лавинных участках Восточно-Казахстанской области.

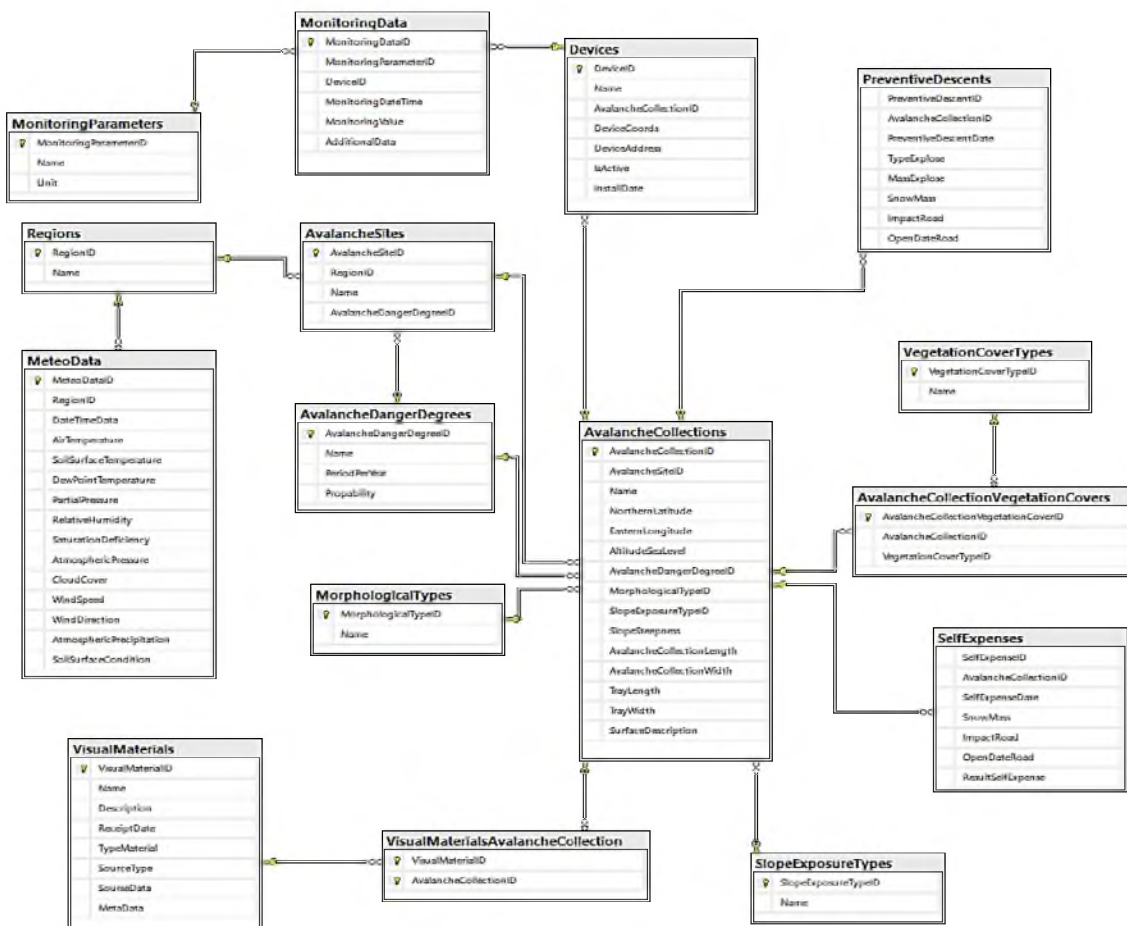


Рисунок 3. Физическая архитектура БД

*Заключение.* В рамках данной статьи рассмотрены подходы, которые применяются для сбора данных, необходимых для создания систем мониторинга и прогнозирования лавинной активности. Для сбора данных могут применяться различные источники данных, такие как: сбор общедоступных данных, применение спутниковых данных, применение различных приборов сбора данных в режиме реального времени, фото- и видеоматериалы и другие источники. В рамках исследования лавинной активности Восточно-Казахстанской области были выявлены информационные объекты, которые описывают наборы данных, позволяющие проводить мониторинг и прогнозирование лавинной активности на территории области. К выявленным нами информационным объектам относятся: район, лавинный участок, лавиносбор, метеоданные, морфологический тип, тип экспозиции склона, тип растительного покрова, растительный покров лавиносбора, степень лавинной опасности, прибор, параметр наблюдения, данные наблюдения.

Для каждого информационного объекта в рамках исследования определены его атрибутивный состав и связи между ними (ER-диаграмм, рис. 1), а также определены источники данных для получения сведений, которые будут использоваться для разработанных информационных объектов.

Построенная нами инфологическая модель БД по лавиносборам позволит реализовать систему для сбора данных, необходимых для проведения мониторинга и прогнозирования лавинной опасности в Восточно-Казахстанской области.



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

#### Список литературы

1. Пупцев Р.И. Разработка системы автоматизированного составления прогноза лавинной опасности с применением современных икт и аппарата нейрокогнитивных архитектур // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2022. – №3. – С. 244-254.
2. Xi N., Mei 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. no. 15. p. 2743. <https://doi.org/10.3390/w15152743>.
3. Метеорологическая база данных «Казгидромет» - URL: [https://meteo.kazhydromet.kz/database\\_meteo/](https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/)
4. Eckerstorfer M., Vickers H., Malnes E., Grahm J. Near-Real Time Automatic Snow Avalanche Activity Monitoring System Using Sentinel-1 SAR Data in Norway, Remote Sensing, 2019, no. 11, p. 2863. <https://doi.org/10.3390/rs11232863>.
5. Фазылов А.Р., Гулаёзов М.Ш., Сафаров М.С., Наврузшоев Х.Д. Мониторинг лавинной опасности в бассейне реки Майхура // Известия национальной академии наук Таджикистана; отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. – 2023. – №2(191). – С. 108-117.
6. Fox J., Siebenbrunner A., Reitingner S., Peer D., Rodriguez-Sanchez A. Deep learning for real-time avalanche detection in webcam images. Proceedings, International Snow Science Workshop, Bend, Oregon, 2023, p. 1504-1511.
7. Ruttner-Jansen P., Glaus J., Wieser A., Buhler Y. A measurement system for mapping snow distribution changes in an avalanche release zone, Proceedings, International Snow Science Workshop, Bend, Oregon, 2023, p. 1074-1081.
8. Виноградов Ю.А., Милехина А.М., Федоров А.В., Федоров И.С. О мониторинге лавинной опасности на территории Северной Осетии // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: Коллективная монография по материалам XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием "Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021)". Том XI. – Москва: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, 2021. – С. 206-212.
9. Сенов Х.М. Яхутлов М.М., Болгов Ю.В. Система мониторинга очагов опасных природных явлений горных территорий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2018. – № 6-3(86). – С. 97-100.
10. Об утверждении Правил осуществления государственного учета чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Приказ Министра внутренних дел Республики Казахстан от 3 марта 2015 г. № 175. – Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан от 8 мая 2015 г. № 10983. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010983>
11. 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. – no. 16. PP. 1205-1216. doi 10.5194/nhess-16-1205-2016. (in Eng)
12. 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. doi: 10.3389/feart.2022.880711
13. Yang J., Li C., Li L., Ding J., Zhang R., Han T., Liu Y. Automatic Detection of Regional Snow Avalanches with Scattering and Interference of C-band SAR Data // Remote Sens. – 2020. – no. 12, 2781. <https://doi.org/10.3390/rs12172781>
14. Eckerstorfer M., Malnes E., Müller K. A complete snow avalanche activity record from a Norwegian forecasting region using Sentinel-1 satellite-radar data // Cold Regions Science and Technology – 2017. – No. 144. – PP. 39–51. doi:10.1016/j.coldregions.2017.08 (in Eng)
15. James Fox, Anna Siebenbrunner, Sandra Reitingner, David Peer, Antonio Rodriguez-Sanchez. Deep Learning for Real-Time Avalanche Detection in Webcam Images // Conference: ISSW 2023, - 2023.
16. Edme P., Paitz P., Walter F., van Herwijnen A., Fichtner A. Fiber-optic detection of snow avalanches using telecommunication infrastructure. – 2023. – arXiv:2302.12649 [physics.geo-ph]. doi 10.48550/arXiv.2302.12649.

17. Marchetti E., Ripepe M., Ulivieri G., Kogelnig A. Infrasound array criteria for automatic detection and front velocity estimation of snow avalanches: towards a real-time early-warning system // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* - 2015. - no. 15. - PP. 2545-2555. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2545-2015>

## References

1. Pupcev R.I. Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo sostavleniya prognoza lavinnoj opasnosti, s primeneniem sovremennyh ikt i apparata nejrokognitivnyh arhitektur // *Gidrosfera. Opasnye processy i yavleniya.* – 2022. – № 3. – С. 244-254.
2. Xi N., Mei 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, no. 15, p. 2743. <https://doi.org/10.3390/w15152743> (in Eng.).
3. Meteorologicheskaya baza dannyh «Kazgidromet» - URL: [https://meteo.kazhydromet.kz/database\\_meteo/](https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/)
4. Eckerstorfer M., Vickers H., Malnes E., Grahn J. Near-Real Time Automatic Snow Avalanche Activity Monitoring System Using Sentinel-1 SAR Data in Norway, *Remote Sensing*, 2019, no. 11, p. 2863. <https://doi.org/10.3390/rs11232863> (in Eng.).
5. Fazylov A.R., Gulayozov M.SH., Safarov M.S., Navruzshoev H.D. Monitoring lavinnoj opasnosti v bassejne reki majhura // *Izvestiya nacional'noj akademii nauk Tadjikistana otdelenie fiziko-matematicheskikh, himicheskikh, geologicheskikh i tekhnicheskikh nauk.* – 2023. – № 2(191). – S. 108-117.
6. Fox J., Siebenbrunner A., Reitinger S., Peer D., Rodriguez-Sanchez A. Deep learning for real-time avalanche detection in webcam images, *Proceedings, International Snow Science Workshop, Bend, Oregon, 2023*, p. 1504-1511 (in Eng.).
7. Ruttner-Jansen P., Glaus J., Wieser A., Buhler Y. A measurement system for mapping snow distribution changes in an avalanche release zone, *Proceedings, International Snow Science Workshop, Bend, Oregon, 2023*, p. 1074-1081 (in Eng.).
8. Vinogradov YU.A., Milekhina A.M., Fedorov A.V., Fedorov I.S. O monitoringe lavinnoj opasnosti na territorii Severnoj Osetii // *Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza: Kollektivnaya monografiya po materialam XI Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem "Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza (GEOKAVKAZ 2021)". Tom XI.* – Moskva: Institut istorii estestvoznaniya i tekhniki im. S.I. Vavilova RAN, 2021. – S. 206-212.
9. Senov H.M. YAhutlov M.M., Bolgov YU.V. Sistema monitoringa ochagov opasnyh prirodnyh yavlenij gornyh territorij // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN.* – 2018. – № 6-3(86). – S. 97-100.
10. Ob utverzhdenii Pravil osushchestvleniya gosudarstvennogo ucheta chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera: Prikaz Ministra vnutrennih del Respubliki Kazahstan ot 3 marta 2015 goda № 175. Zaregistririvan v Ministerstve yusticii Respubliki Kazahstan ot 8 maya 2015 goda № 10983. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010983>
11. 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. – no. 16. PP. 1205-1216. doi 10.5194/nhess-16-1205-2016.
12. 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. doi: 10.3389/feart.2022.880711
13. Yang J., Li C., Li L., Ding J., Zhang R., Han T., Liu Y. Automatic Detection of Regional Snow Avalanches with Scattering and Interference of C-band SAR Data // *Remote Sens.* – 2020. – no. 12, 2781. <https://doi.org/10.3390/rs12172781>
14. Eckerstorfer M., Malnes E., Müller K. A complete snow avalanche activity record from a Norwegian forecasting region using Sentinel-1 satellite-radar data // *Cold Regions Science and Technology* – 2017. – No. 144. – PP. 39–51. doi:10.1016/j.coldregions.2017.08 (in Eng)
15. James Fox, Anna Siebenbrunner, Sandra Reitinger, David Peer, Antonio Rodriguez-Sanchez. Deep Learning for Real-Time Avalanche Detection in Webcam Images // *Conference: ISSW 2023*, - 2023.
16. Edme P., Paitz P., Walter F., van Herwijnen A., Fichtner A. Fiber-optic detection of snow avalanches using telecommunication infrastructure. – 2023. – arXiv:2302.12649 [physics.geo-ph]. doi 10.48550/arXiv.2302.12649.
17. Marchetti E., Ripepe M., Ulivieri G., Kogelnig A. Infrasound array criteria for automatic detection and front velocity estimation of snow avalanches: towards a real-time early-warning system // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* - 2015. - no. 15. - PP. 2545–2555. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2545-2015>.