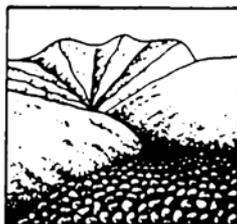


# **СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита**

---

Труды  
8-й Международной конференции

Тбилиси, Грузия, 6–10 октября 2025 г.



Ответственные редакторы  
С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева

---

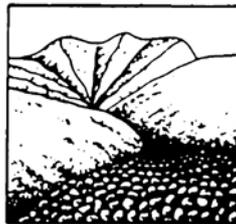
ООО «Геомаркетинг»  
Москва  
2025

# **DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection**

---

Proceedings  
of the 8<sup>th</sup> International Conference

Tbilisi, Georgia, 6–10 October 2025



Edited by  
S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva

---

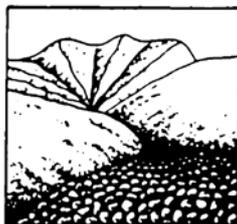
Geomarketing LLC  
Moscow  
2025

# ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა

---

მე-8 საერთაშორისო კონფერენციის  
მასალები

თბილისი, საქართველო, 6-10 ოქტომბერი, 2025



რედაქტორები  
ს. ს. ჩერნომორეც, გ. ვ. გავარდაშვილი, კ. ს. ვისხაჯიევა

---

შპს „გეომარკეტინგი“  
მოსკოვი  
2025

УДК 551.311.8  
ББК 26.823  
С29

**Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита.** Труды 8-й Международной конференции (Тбилиси, Грузия). – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2025. 496 с.

**Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection.** Proceedings of the 8th International Conference (Tbilisi, Georgia). – Ed. by S.S. Chernomorets, G.V. Gavardashvili, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC, 2025. 496 p.

**ღვარცოფები: კატასტროფები, რისკი, პროგნოზი, დაცვა.** მე-8 საერთაშორისო კონფერენციის მასალები. თბილისი, საქართველო. – პასუხისმგებელი რედაქტორები ს.ს. ჩერნომორეც, გ.ვ. გავარდაშვილი, კ.ს. ვისხაჯიევა. – მოსკოვი: შპს „გეომარკეტინგი“, 2025. 496 ს.

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), Г.В. Гавардашвили (Институт водного хозяйства имени Цотне Мирцхулава Грузинского технического университета), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (M.V. Lomonosov Moscow State University), G.V. Gavardashvili (Tsozne Mirtskhulava Institute of Water Management, Georgian Technical University), K.S. Viskhadzhieva (M.V. Lomonosov Moscow State University).

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).

Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

ISBN 978-5-6053539-4-2

© Селевая ассоциация  
© Институт водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава  
Грузинского технического университета

© Debris Flow Association  
© Ts. Mirtskhulava Water Management Institute  
of Georgian Technical University

© ღვარცოფების ასოციაცია  
© საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
ც. მირცხულავას სახელობის წყალთა  
მეურნეობის ინსტიტუტი



## Перспективы развития селевых прогнозов в Казахстане с применением технологий машинного обучения

А.Р. Медеу<sup>1</sup>, В.П. Благовещенский<sup>1</sup>, В.В. Жданов<sup>1</sup>, С.У. Ранова<sup>1</sup>,  
А.Н. Камалбекова<sup>1,2</sup>, У.Р. Алдаберген<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>АО «Институт географии и водной безопасности» Министерства науки и высшего образования, Алматы, Казахстан, ZhdanovVitaliy@yandex.kz

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

**Аннотация.** Прогнозирование селевой опасности является одним из методов защиты. На основе штормовых предупреждений ДЧС г. Алматы принимает экстренные меры. Существующие методы прогноза для данного региона основаны на текущем прогнозировании с заблаговременностью 1–3 ч. Они были разработаны в 1980-е гг., и их точность вызывает сомнение у потребителей. Целью нашей работы является улучшения качества оценки селеопасной обстановки с применением интеллектуального анализа данных и машинного обучения. Искусственные нейронные сети успешно применяются для прогнозирования природных опасностей во многих мировых прогностических центрах. Для создания экспериментального метода применялся профессиональный статистический пакет обработки больших данных от фирмы “StatSoft”. Для обучения была собрана база данных за период 1950–2024 г. В нее вошли гидрометеорологические факторы селеформирования и информация о селевых потоках. Для классификации селеопасной обстановки был предложен свой вариант шкалы селевой опасности. В результате была разработана экспертная система для классификации потенциально опасных гидрометеорологических условий. Для проверки работоспособности модели были проведены испытания на реальных данных за селеопасный сезон 2024 г. Стандартная статистическая ошибка входных данных была в пределах 5% уровня значимости, а ошибка обучения составила 1–8%. Результаты моделирования оказались достоверными. Ее точность в результате производственных испытаний составила 93,6%, что выше точности существующих методов прогнозов. Выполненные работы свидетельствуют о перспективности применения технологий машинного обучения для оценки и прогнозирования уровня селевой опасности.

**Ключевые слова:** анализ данных, горы Иле Алатау, искусственный интеллект, классификация, машинное обучение, селевые потоки, юго-восточный Казахстан

**Ссылка для цитирования:** Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Жданов В.В., Ранова С.У., Камалбекова А.Н., Алдаберген У.Р. Перспективы развития селевых прогнозов в Казахстане с применением технологий машинного обучения. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 8-й Международной конференции (Тбилиси, Грузия). – Отв. ред. С.С. Черноморец, Г.В. Гавардашвили, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2025, с. 306–315.

## Prospects for development of debris flow forecasts in Kazakhstan using machine learning technologies

A.R. Medeu<sup>1</sup>, V.P. Blagoveshchenskiy<sup>1</sup>, V.V. Zhdanov<sup>1</sup>, S.U. Ranova<sup>1</sup>,  
A.N. Kamalbekova<sup>1,2</sup>, U.R. Aldabergen<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>JSC “Institute of Geography and Water Security” of the Ministry of Science and Higher Education, Almaty, Kazakhstan, ZhdanovVitaliy@yandex.kz

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

**Abstract.** Debris flow danger forecasting is one of the protection methods. Based on emergency warnings, the Almaty Department of Emergency Situations takes emergency



measures. Existing forecasting methods for this region are now-casting with a lead time of 1–3 h. They were developed in the 80s of the 20th century, and their accuracy is questionable among consumers. The purpose of our work is to improve the quality of debris flow hazard situation assessment using intelligent data analysis and machine learning. Artificial neural networks are successfully used to forecast natural hazards in many global forecasting centers. To create an experimental method, a professional statistical package for big data processing from “StatSoft” was used. For training, a database was collected for the period 1950–2024. It included hydro-meteorological factors of debris flow formation and information on debris flows. To classify the debris flow danger situation, our own version of the debris flow danger scale was proposed. As a result, an expert system was developed for classifying potentially dangerous hydro-meteorological conditions. To verify the model’s performance, tests were conducted on real data for the 2024 debris flow season. The standard statistical error of the input data was within 5% of the significance level, and the training error was 1–8%. The modeling results were reliable. Its accuracy as a result of production tests was 93.6%, which is higher than the accuracy of existing forecasting methods. The work performed indicates the promise of using machine learning technologies to assess and predict the level of debris flow danger.

**Key words:** *data analysis, Ile Alatau mountains, artificial intelligence, classification, machine learning, debris flows, southeastern Kazakhstan*

**Cite of this article:** Medeu A.R., Blagovechshenskiy V.P., Zhdanov V.V., Ranova S.U., Kamalbekova A.N., Aldabergen U.R. Prospects for development of debris flow forecasts in Kazakhstan using machine learning technologies. In: Chernomorets S.S., Gavardashvili G.V., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 8th International Conference (Tbilisi, Georgia). Moscow: Geomarketing LLC, 2025, p. 306–315.

## Введение

Катастрофические селевые потоки отмечаются во многих горных районах мира. Они способны причинить значительный материальный ущерб и вызвать многочисленные жертвы. Поэтому защита от них имеет важное государственное значение. На основе предупреждений планируется работа спасательных служб и возможная эвакуация населения. В последние годы новейшие методы прогноза селевых потоков разрабатывались в крупных научно-исследовательских центрах. Лидерами являются страны, где горные районы занимают большие площади. Это США, Китай, Индия, Россия, Швейцария, Япония и Южная Корея [Будагов, 2008; Dash, 2022; Li, 2019; Huang, 2022; Heckmann, 2014]. Применяются два подхода к прогнозу – детерминистский и стохастический. В первом используют расчетные формулы, учитывая физические и гидравлические законы возникновения потоков. Во втором применяют статистические зависимости между опасными явлениями погоды и возникновением селевого потока.

В Республике Казахстан исследования в области селевых потоков начались в 1920-х гг. Система предупреждения в те годы заключалась в телеграфной передаче данных с наблюдательных постов метеорологической службы. В 1960–1970-е гг. уже был открыт научный институт и внедрены первые методы прогноза катастрофических потоков [Степанов, 2023]. В настоящее время изучением и прогнозированием селевых потоков занимается национальная метеорологическая служба. Государственное Учреждение «Селезащита» является проектной организацией и отвечает за эксплуатацию защитных инженерных сооружений. Принятие экстренных мер по оповещению и эвакуации населения проводит департамент по чрезвычайным ситуациям. Основания для этого являются предупреждения от гидрометеорологической прогностической службы [Яфязова, 2007].

Воздействию селевых потоков подвержены предгорные районы на востоке, юго-востоке и юге республики. Масштабы явления могут меняться от локальных потоков, до гигантских с многочисленными жертвами. Их объемы могут достигать миллионов



кубометров и расход воды несколько тысяч кубометров в секунду. Крупнейшие катастрофы в 1921, 1963, 1973 г. приводили к огромным жертвам и ущербу в миллиарды долларов [Виноградов, 1976; Таланов, 2001]. Опасность этого природного явления вызывает необходимость в разработке разных методов защиты. Долговременная постоянная защита в виде дамб и отводящих каналов стоит очень дорого, но значительно уменьшает риск для населения и объектов. Прогнозирование опасности прохождения селя стоит значительно меньше и позволяет организовать предупреждение для населения. Поэтому он очень широко применяется в стране [Баймолдаев, 2007].

В работе РГП «Казгидромет» и ГУ «Казселезащита» используются статистические методы прогноза, разработанные группой авторов: Степанов, Яфязова, Виноградов, Таланов [Степанов, 2014; Степанов, 2023; Таланов, 2001; Таланов, 2016; Виноградов, 1977]. В них учитывается зависимость между метеорологическими параметрами и прохождением селевых потоков. Рассчитывается превышение критических значений температуры воздуха и количества осадков, необходимых для формирования селевых потоков. Отдельно оцениваются условия формирования низкогорных паводков и высокогорных ливневых и гляциальных селей. Методы относятся к нау-кастинг прогнозам. Для увеличения заблаговременности применяются данные прогноза, составленного в синоптическом отделе РГП «Казгидромет». По требованию гидрологов составляются прогнозы погоды в районе расположения основных селевых очагов. Точность локальных прогнозов в изученном районе всегда выше фоновых по большой территории. По данным национальной гидрометеорологической службы для хребта Иле Алатау точность прогнозов достигает 90% [Степанов, 2023; селевой бюллетень, 2024].

### Материалы и методы

Существуют два способа внедрения технологий машинного обучения в работу ученых, анализирующих природные явления [Бишоп, 2020]. Первый из них это написание собственной программы нейросимулятора. Самый распространенный язык программирования PYTHON с открытым кодом и использованием бесплатных библиотек. Но этот способ требует соответствующей квалификации программиста и больших затрат времени на разработку собственной нейронной сети (ИНС). Другой способ создания ИНС это использование готового программного обеспечения от известных производителей [Акгул, 2012; Бурова, 2020; Лутсенко, 2022].

Для работы мы выбрали пакет профессиональной статистики и анализа больших данных “StatSoft” от компании “Dell”. Русскоязычная версия адаптирована для рынка СНГ компанией “StatSoft Russia” и широко применяется многими научными организациями [StatSoft Russia, 2022]. Пакет представляет электронные таблицы данных и блоки статистического анализа. Программа включает интеллектуальный анализ данных использующих различные алгоритмы контролируемого и неконтролируемого обучения [Боровиков, 2018]. Присутствуют режимы обучения, тестирования и прогнозирования с помощью полученной ИНС.

В пакете интеллектуального анализа данных “StatSoft” реализованы следующие параметры:

1. Тип сети: многослойный перцептрон (MPL).
2. Алгоритм обучения: итерационный метод численной оптимизации (BFGS), разновидность метода обратного распространения ошибки.
3. Функция активации: Тожественная, Гиперболическая, Логистическая, Софтмакс.
4. Эпохи обучения. Полный цикл обработки всего обучающего массива. Реализация от 1 до нескольких тысяч.
5. Функция ошибки обучения: сумма квадратов и кросс-энтропия. Математический метод выражения суммарной ошибки расчетов.
6. Режим хранения и прогнозирования. Позволяет сохранить готовую нейронную сеть в формате PMML и использовать для прогнозирования.



### Обучающая выборка и уровень селевой опасности

Для оценки селевой опасности в горах Иле Алатау используются многолетние архивы Казахстанской метеорологической службы. Данные наблюдений включены в международный фонд Всемирной метеорологической организации и находятся в свободном доступе в стандартном коде КН-01 – SYNOP [www.rp5.ru, 2024, архив Казгидромета 2024]. Это старейшие пункты наблюдений, которые являются репрезентативными для горных районов всего Юго-Восточного Казахстана:

- метеостанция «Мынжылки», высота 3017 м н.у.м., индекс 36889 (N43°05'06,9"; E77°04'37,5");

- метеостанция «озеро Улкен Алматы», высота 2502 м н.у.м., индекс 36789 (N43°03'33,3"; E76°58'55,0");

- метеостанция Шымбулак, высота 2200 м н.у.м., индекс станции 36873 (N43°07'57,3"; E77°04'39,51").

- На этих станциях проводится полный комплекс метеорологических наблюдений по стандарту ВМО. По данным метеорологических станций создана электронная база данных со следующими характеристиками:

- период наблюдений: 1950–2024 гг.,

- дискретность наблюдений: суточные данные метеоэлементов за селеопасный период с 1 мая по 30 сентября;

- объем выборки: 16 рядов переменных по 11100 значений в каждом;

Данные о селевых потоках собираются в многолетних архивах наблюдений Национальной метеорологической службы, государственного селезащитного управления [селевой бюллетень 2024, сайт МЧС 2024]. Анализировались селевые явления на реках северного склона Иле Алатау: Узынкаргалы, Узынагаш, Шамолган, Каскелен, Каргалы, Аксай, Улкен и Киши Алматы, Талгар, Есик, Турген. Данные хранятся в форматах «Microsoft Excel» и «Statistica Spreadsheet».

Прогнозы опасных гидрометеорологических явлений передаются в вероятностной форме согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО) [Кутвал, 2008; Флеминг, 2015]. Это позволяет учесть степень угрозы и принятие необходимых мер защиты. Чаще всего используются 5 и 4 балльные шкалы погодной опасности, где учитывается вероятность возникновения явления и его интенсивность. Для удобства потребителей уровни опасности обозначаются стандартными понятными для потребителя фразами. Дополнительный текст выделяется цветом для привлечения внимания. Низкий уровень опасности – зеленый, высокий уровень опасности – красный.

В Казахстанской национальной метеорологической службе в 2022 г. разработана собственная 4-балльная шкала селевой опасности и начат выпуск селевого бюллетеня в новом формате [Степанов, 2023]. Решение о необходимости внедрения вероятностных форм прогноза было принято ранее [Таланов, 2016]. Для выделения уровней опасности селевого потока применяются известные критерии: опасное явление погоды и стихийное гидрометеорологическое явление. Критические значения метеорологических элементов для селеопасной зоны хорошо изучены и входят в большинство методов прогноза селевых потоков. Нами предложен свой вариант шкалы опасности, немного отличный от официального. Отличие заключается в цифровом обозначении уровней: от 1 до 4 и от 0 до 3. Мы изменили обозначение и обозначили отсутствие явления 0 уровнем для удобства классификации и обучения нейронной сети. В официальном бюллетене 1 уровень дается с начала теплого периода. Мы же предлагаем считать дни с отсутствием селевых явлений нулевым уровнем, что бы не вводить в заблуждение потребителей прогноза. А первым низким уровнем будет считаться ситуация, когда появляется вероятность возникновения локальных потоков на отдельных реках. Она приведена в таблице 1 и будет использоваться для классификации селевых явлений и дальнейших экспериментальных моделей прогноза.

В зависимости от распределения нулевой изотермы селевые потоки могут формироваться в различных высотных зонах. И для составления предупреждений



инженеру прогнозисту важно оценить температурные условия в горах [Киренская, 1985; Киренская, 1989]. Стандартное разделение на низкогорные, среднегорные и высокогорные сели используется при составлении прогнозов в настоящее время. Оно же будет применяться при обучении нейронной сети. Их классификация зон зарождения по высоте приведена в таблице 2.

Таблица 1. Шкала селевой опасности

Уровень опасности	Вероятность возникновения селевого потока	Описание гидрометеорологической обстановки	Степень угрозы и меры защиты
0. Нулевой	Отсутствие селевых явлений	Низкая температура воздуха, осадки в твердом виде во всех горных зонах	Угроза отсутствует, меры защиты не нужны
1. Низкий	Катастрофический селевой поток маловероятен. Ожидается повышение водности в отдельных горных реках	Повышение температуры воздуха, увлажненности почвы и выпадение незначительных осадков, приводящие к росту уровня и мутности воды в горных реках	Угроза подтоплений в руслах рек, угрозы для любых хозяйственных объектов нет. Необходимо оповещение заинтересованных организаций в опасных районах
2. Умеренный	Катастрофический поток вероятен. Ожидается аномальное повышение водности во всех горных реках	Возникновение селеопасной гидрометеорологической обстановки. Температура воздуха, увлажненность почвы и количество осадков в горах достигают критерия опасного явления погоды	Есть локальная угроза для людей и хозяйственных объектов в руслах селеопасных рек. Необходимо оповещение заинтересованных организаций в опасных районах
3. Высокий	Катастрофический поток весьма вероятен. Аномальное повышение водности во всех горных реках неизбежно	Возникновение экстремальной селеопасной гидрометеорологической обстановки. Температура воздуха, увлажненность почвы и количество осадков в горах достигают критерия стихийного явления погоды	Высокая угроза для людей и хозяйственных объектов в селеопасных районах. Необходимо закрытие объектов, ограничение доступа людей в опасную зону и всеобщее оповещение населения



Таблица 2. Классификация высотных зон формирования селевых потоков

Высотная зона	Вероятность возникновения селевого потока	Описание гидрометеорологической обстановки	Степень угрозы
0. Предгорная	Отсутствие селевых явлений	Высота нулевой изотермы ниже 3200 м, замерзшая почва и осадки в твердом виде	Нет угрозы
1. Низкогорная, высота $H_0$ ниже 3000 м н.у.м	Формирование ливневых селевых потоков	Высота нулевой изотермы в пределах 3200–3800 м. Выпадение жидких осадков только в низкогорной зоне	Угроза подтоплений только в низкогорных и предгорных районах
2. Среднегорная, высота $H_0$ от 3000 до 3500 м н.у.м	Формирование ливневых селевых потоков	Высота нулевой изотермы в пределах 3800–4200 м. Выпадение жидких осадков в низкогорной и среднегорной зонах	Угроза прохождения селевых потоков по основным руслам рек в среднегорной и низкогорной зоне
3. Высокогорная, высота $H_0$ выше 3500 м н.у.м	Формирование ливневых, смешанных, гляциальных селевых потоков	Высота нулевой изотермы выше 4200 м. Выпадение жидких осадков во всех высотных зонах	Угроза прохождения селевых потоков по всем горным рекам и высотным зонам

### Обсуждение результатов исследований

В качестве прогностических предикторов были выбраны доминирующие факторы формирования селевых потоков в данном регионе. Они приведены в таблице 3. Это 13 входных переменных ( $X$ ) и 3 выходные переменные ( $Y$ ). Важная причина выбора входных данных – это стандартные наблюдения, проводимые на сети метеорологических и станций Казахстана в течение длительного периода времени [www.rp5.ru, 2024; архив Казгидромета 2024].

Таблица 3. Метеорологические критерии, анализируемые нейронной сетью для оценки уровня селевой опасности

Переменная	Значение переменной		
Входные переменные			
$X_1$	Озеро Улкен Алматы	$T$	Среднесуточная температура воздуха, °C
$X_2$		$\Sigma T_5$	Сумма температур за предыдущие 5 суток, °C
$X_3$		$X_{сут}$	Суточная сумма осадков, мм
$X_4$		$\Sigma X_{30}$	Сумма осадков за предыдущий месяц, мм
$X_5$	Мынжылки	$T$	Среднесуточная температура воздуха, °C
$X_6$		$\Sigma T_5$	Сумма температур за предыдущие 5 суток, °C
$X_7$		$X_{сут}$	Суточная сумма осадков, мм
$X_8$		$\Sigma X_{30}$	Сумма осадков за предыдущий месяц, мм
$X_9$	Шымбулак	$T$	Среднесуточная температура воздуха, °C
$X_{10}$		$\Sigma T_5$	Сумма температур за предыдущие 5 суток, °C
$X_{11}$		$X_{сут}$	Суточная сумма осадков, мм
$X_{12}$		$\Sigma X_{30}$	Сумма осадков за предыдущий месяц, мм
$X_{13}$	–	$H_0$	Высота нулевой изотермы, м
Выходная переменная			
$Y_1$	Уровень селевой опасности		
$Y_2$	Факт прохождения селевого потока		
$Y_3$	Высотная зона формирования потока		



В результате работы был получен экспериментальный метод классификации уровней селевой опасности, высотных зон формирования и разделения дней с фактическим прохождением селевых потоков.

С учетом объема обучающей выборки для прогноза селевой опасности была выбрана оптимальная структура нейронной сети с количеством скрытых нейронов от 400 до 600 и количеством скрытых слоев: 2–3 [Бишон, 2020; Боровиков, 2018]. Архитектура нейронной сети показана на рис. 1. Для классификации уровня селевой опасности: 8 входных переменных (сигналов) и 1 выходная переменная (сигнал). Для классификации высоты очагов зарождения селей: 8 входных переменных (сигналов) и 1 выходная переменная (сигнал).

В процессе эксперимента проводилось обучение нейронных сетей с различными наборами параметров и алгоритмов обучения. В результате были выбраны варианты с наименьшими ошибками обучения. Отрабатывались два варианта статистических задач – регрессия и классификация. При обучении закладывались механизмы активации нейронов, по умолчанию рекомендованные производителем программ [StatSoft Russia, 2022]. В режиме классификации при одинаковой обучающей выборке ошибки оказались ниже. Для дальнейшей работы будет использоваться нейросеть, которая дает наименьшие ошибки при обучении. На ее основе создается экспертная система оценки уровня селевой опасности.

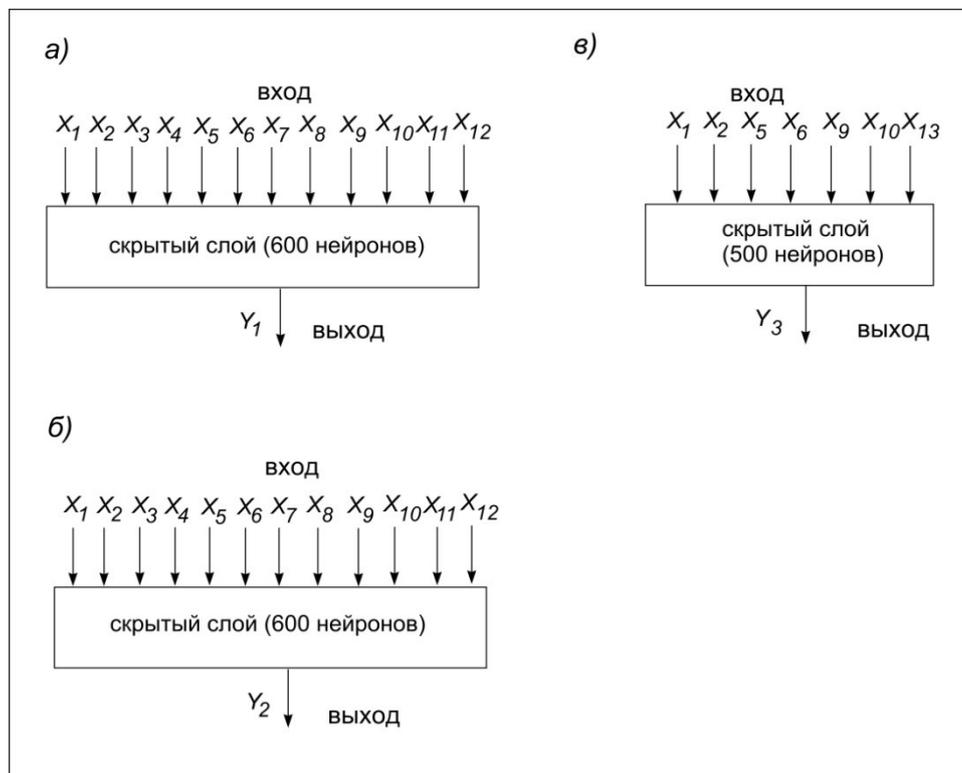


Рис. 1. Принципиальная схема искусственной нейронной сети. а) – классификация уровня селевой опасности. б) – классификация дней с прохождением селевых потоков. в) – классификация высотных зон зарождения селевых потоков

Качество работы полученного метода классификации селеопасных ситуаций было проверено на реальных данных о сходе селевых потоков в горах иле Алатау в селеопасный период с 30 мая по 31 августа 2024 г. полученных с сайтов Росгидромета и Казгидромета [www.rp5.ru, 2024; архив Казгидромета 2024]. Текущая селеопасная обстановка была классифицирована экспертами с учетом гидрометеорологических данных и сходом селевых потоков. Одновременно была проведена классификация обстановки с помощью полученной автоматизированной системы. Результаты соответствия точности классификации приведены в таблице 4.



Таблица 4. Проверка точности классификации на реальных данных

Метод оценки УСО	Процент точных оценок	Критерий Вилкоксона	Критерий Брайера	Корреляция Спирмена
Искусственный интеллект	93,6	2,2	0,026	0,74

Результаты классификации с помощью методов искусственного интеллекта показали хорошие результаты. Точность оценки составила 93,6%. Критерий Вилкоксона, используемый для сравнения результатов эксперимента оказался статистически значимым. Критерий Брайера для вероятностных прогнозов составил 0,026, что является хорошим показателем [Sharma, 2024; Zhao, 2024; Rajabi, 2024].

В селеопасный период июнь-август 2024 г. в горах Иле Алатау отмечалось несколько значимых селевых явлений [селевой бюллетень 2024; сайт МЧС 2024]. Большинство из них имели ливневой генезис – 30 июня, 08 и 17 июля. Причиной стали сильные ливни. Угроза возникновения селевого потока гляциального генезиса отмечалась 11 июля из-за обрушения части ледника в верховьях р. Есик. Но подобные явления трудно оценить, поскольку они возникают при малоизученных условиях в ледниковой зоне 50–51 [Попов, 1987; Занпаров, 2023].

30 июня отмечался локальный поток на р. Сарысай и рост уровня воды и мутности на горных реках. Причиной формирования стали осадки в количестве 10–15 мм. Модель показала 1 уровень опасности (Низкий), что близко к оценке экспертов по реальным данным.

8 июля отмечался селевой поток на р. Каскелен. В это время осадки выпадали в течение 2 дней, и суточная сумма соответствовала отсутствию селевой опасности. Модель занизила уровень по сравнению с реальными условиями. Это произошло из-за того, что осадки выпадают локально и используемые метеостанции в данном случае оказались нерепрезентативными.

10 июля модель показала повышение селевой опасности до 2 уровня (умеренного). Это связано с критическим увлажнением и осадками 18–20 мм в сутки. Однако, отмечался только повышение уровня и мутности воды, что соответствует 1 уровню опасности (низкому). Модель немного завысила уровень.

17 июля селевые потоки прошли по рекам Талгар, Улкен Алматы и Кумбельсу. Была повреждена автодорога. Причиной стали обильные осадки величиной 25–30 мм в сутки вместе с критической температурой воздуха и увлажненностью почвы. Модель показала 2 уровень (умеренный), что соответствует реальным данным.

### Заключение

Разработанный нами метод классификации уровня селевой опасности, факта прохождения селевых потоков и высотных зон зарождения селей позволяет усовершенствовать методы прогноза этого катастрофического явления. Искусственный интеллект позволяет провести классификацию текущей метеорологической обстановки с точностью 93,6%. Это очень важно для составления экстренных оповещений для населения и государственных органов об ожидаемой чрезвычайной ситуации. Заблаговременные точные прогнозы необходимы для планирования работы спасательных служб и обеспечения безопасности населения в горных селеопасных районах. В дальнейшем планируется внедрение экспериментального метода в практическую работу РГП «Казгидромет» и ГУ «Казселезащита». Однако методы оценки текущей ситуации обладают нулевой заблаговременностью. Перспективным методом является применение результатов численных моделей прогноза погоды с целью увеличения заблаговременности предупреждений о селевой опасности. В качестве прогностических предикторов в отдаленных неизученных районах целесообразно брать результаты погодных реанализов из международных баз данных.



## Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам отдела изучения и прогноза селевых потоков Филиала РГП «Казгидромет» по г. Алматы в сборе материала.

## Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Научно-прикладное обоснование селе-оползне- и лавинобезопасности в горных районах Иле и Жетысу Алатау Республики Казахстан». Программно-целевое финансирование № BR21881982.

## Список литературы

- Akgun A. et al. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm // *Comput Geosci*. 2012. № 38(1). P. 23–34.
- Архив Казахстана национальной метеорологической службы  
URL: [https://meteo.kazhydromet.kz/database\\_meteo/](https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/). [Электронный ресурс]. (Дата обращения 30.09.2024).
- Баймолдаев Т., Виноходов В.Н. Казселезащита – оперативные меры до и после стихии. Алматы: Изд-во Бастау, 2007, 284 с.
- Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных и машинное обучение на Statistica. Москва: Изд-во Горячая линия – Телеком, 2018, 354 с.
- Бишоп К.М. Распознавание образов и машинное обучение. / Перевод с английского Д.А. Ключина. Москва; Санкт-Петербург: Изд-во Диалектика, 2020, 960 с.
- Будагов Б.А., Сафаров С.Г. Селевые явления на южном склоне Большого Кавказа и гидрометеорологические факторы их формирования // *Известия РАН. Серия географическая*. Москва: Наука, 2008, № 2, с. 116–121.
- Бурова О.А., Судакова А.А. Искусственный интеллект – помощник статистики будущего // *Наука о данных: Материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 5–7 февраля 2020 года*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2020, с. 74–76.
- Виноградов, Ю.Б. Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. Ленинград, Гидрометеиздат, 1977, 55 с.
- Виноградов Ю.Б., Земс А.Э., Хонин Р.В. Селевой поток 15 июля 1973 г. на Малой Алматинке // *Селевые потоки*, Изд-во КазНИГМИ. 1976, № 1, с. 60–72.
- Ежедневный селевой бюллетень. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/selevedenie-str/ezhdnevnyy-bulleten-selevoou-opasnosti-dozhdevogo-genezisa>. [Электронный ресурс]. (Дата обращения 30.09.2024).
- Информация о погоде и климате по данным метеостанций. URL: <http://www.rp5.ru> [Электрон. ресурс]. (дата обращения 10.10.2024).
- Запфаров М.Р., Касенов М.К., Кулбекова Ш.А., Ауелхан Е.С., Бостаева А.К. Критерии прорывоопасности моренно-ледниковых озер: научно-методологическое обоснование. Алматы: Мектеп, 2023, 182 с.
- Киренская Т.Л.; Данилина Н.А. О долгосрочных прогнозах селевых явлений ливневого происхождения // *Селевые потоки*. Изд-во КазНИГМИ. 1989. № 11. С. 27-35.
- Киренская Т.Л. О прогнозировании ливневых селей в Заилийском Алатау // *Селевые потоки*. Москва Гидрометео издательство. 1985. № 9. С. 77–84.
- Кутвал А. Рекомендации по предоставлению данных о неопределенности прогнозов. PWC-18 WMO/TD. 2008, № 1422. <http://meteoinfo.ru/wmo-td-1422>.
- Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан.  
URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/article/1?lang=en> [Электрон. ресурс] (дата обращения 10.10.2024).
- Попов Н.В. Прорывные гляциальные сели и борьба с ними в горах Северного Тянь-Шаня. Материалы гляциологических исследований: Хроника, обсуждения. 1987, вып. 59, с. 189–195.
- Руководящие указания ВМО по обслуживанию прогнозами и предупреждениями о многих опасных явлениях с учетом их возможных последствий. (Флеминг Д. и др.). 2015. ВМО 1150. 36 с. ([www.wmo.int](http://www.wmo.int))



- Степанов Б.С. Вклад национальной гидрометеорологической службы Республики Казахстан в селевую безопасность страны // *Гидрометеорология и экология*, 2023, 4: 113–123. doi: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-113-123.
- Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Сверхкраткосрочный прогноз дождевых селей и формирование селей в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы 21 июля 2023 года // *Гидрометеорология и экология*, 2023, 4: 16–24.
- Таланов Е.А. Технология краткосрочного вероятностного прогнозирования паводков и селевых потоков на основе прогноза количества осадков на 3 и 6 часов. // *Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: Материалы IV Международной конференции (Россия, г. Иркутск – пос. Аршан (Республика Бурятия), 6–10 сентября 2016 г.)*. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016, с. 229–233.
- Таланов Е.А. Селевые явления и зоны, подверженные их воздействию в бассейне реки Б. Алматинка. Современные проблемы геоэкологии и созоологии: Доклады Международной научно-практической конференции 22–23 января 2001, Алматы / Под редакцией М.М. Буракова, Л.М. Павличенко, Е.А. Таланова. Алматы: изд-во Шартарап, 2001, 410 с.
- Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. Алматы. 2007. С. 158.
- Dash R.K., Falae P.O., Kanungo, D.P. Debris flow susceptibility zonation using statistical models in parts of Northwest Indian Himalayas-implementation, validation, and comparative evaluation. // *Nat. Hazards*, 2022, 111: 2011–2058.
- Lutsenko E.V. Automated system-cognitive analysis of the level of consistency of natural numbers as systems of prime factors // *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 2022, 179: 96–177.
- Liu K.-F., Wei S.-C. Intelligent debris flow monitoring and warning system // In: Chernomoret S.S., Hu K., Viskhadzhieva K.S. (eds.) *Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China)*. Moscow: Geomarketing LLC, 2024, p. 302–306.
- Li C., Ma Y. Formation, mechanical characteristics and vulnerability of debris flow in Yaojiawan Gully, Wangmo County, Guizhou Province // *Science, Technology and Engineering*, 2019. 19(24): 62–67.
- Huang H. et al. Debris-flow susceptibility assessment in China: A comparison between traditional statistical and machine learning methods // *Remote Sens.*, 2022, No. 14, p. 4475.
- Heckmann T. et al. Sample size matters: Investigating the effect of sample size on a logistic regression susceptibility model for debris flows // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2014, 14: 259–278.
- Rajabi A.M., Edalat A., Abolghasemi Y., Khodaparast M. Using neural network modeling to improve the detection accuracy of land subsidence due to groundwater withdrawal. // *J. Mt. Sci.*, 2024, 21: 2320–2333. doi: 10.1007/s11629-023-8470-2.
- Sharma A., Sajjad H., Rahaman M.H., Saha T.K., Bhuyan N. Effectiveness of hybrid ensemble machine learning models for landslide susceptibility analysis: Evidence from Shimla district of North-west Indian Himalayan region // *J. Mt. Sci.*, 2024, 21: 2368–2393. doi: 10.1007/s11629-024-8651-7
- StatSoft. URL: <https://statsoftai.ru/> [Электрон. ресурс]. (дата обращения 06.09.2025).
- Zhao H., Wei A., Ma F., Dai F., Jiang Y., Li H. Comparison of debris flow susceptibility assessment methods: support vector machine, particle swarm optimization, and feature selection techniques // *J. Mt. Sci.*, 2024, 21: 397–412. doi: 10.1007/s11629-023-8395-9.