



Научная статья

УДК 551.509

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2026.3.5>

ОЦЕНКА ПАВОДКОВОЙ ОПАСНОСТИ НА ЦЕНТРАЛЬНОМ КАВКАЗЕ НА БАЗЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ

Лежинка Танашевна Созаева^{1*},
Артур Хасанбиевич Кагермазов²

^{1,2} Высокогорный геофизический институт (2, пр. Ленина, 360030, Нальчик, Российская Федерация)

¹ lj_k_62@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9840-3566>

² ka5408@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8126-6008>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

В статье представлен метод прогнозирования паводковой опасности, основанный на интеграции прогностических данных Глобальной модели атмосферы GFS NCEP в статистическую схему. Актуальность исследования обусловлена увеличением частоты и разрушительности паводков для объектов инфраструктуры, а также дефицитом наземной гидрометеорологической сети в горных регионах Северного Кавказа. Информационный дефицит пространственно-распределенных данных предлагается компенсировать за счет привлечения гидрометеорологических полей глобального численного моделирования. Целью работы является разработка прогностической модели, связывающей термодинамические параметры атмосферы, количество осадков и величину превышения уровня воды в реках над ординаром (средним многолетним уровнем). Материалами исследования послужили архивные данные гидрологических полевых наблюдений за паводками и связанные с ними синоптические условия. Для выявления предикторов опасных конвективных явлений проанализированы вертикальные профили температуры, влажности, а также вектора скорости ветра на стандартных изобарических поверхностях. Применение методов множественного регрессионного анализа в программной среде SPSS позволило получить уравнения, описывающие взаимосвязь между интенсивностью паводков, общим количеством осад-

ков за предшествующие трое суток и предполагаемым количеством осадков в день образования стока. Прогнозирование экстремальных осадков на текущие сутки основано на регрессионных связях термодинамических индексов атмосферы, извлеченных из Глобальной модели GFS. Результаты реализации разработанного подхода позволяют предупреждать о неблагоприятных погодных условиях за 24 часа до их начала. Такой временной интервал оптимизирует процесс принятия решений государственными органами и подразделениями гражданской защиты при планировании превентивных мер в районах, подверженных катастрофическим наводнениям.

Ключевые слова: глобальная модель атмосферы, термодинамические параметры, экстремальные осадки, гидрологический режим, паводковая опасность, Центральная часть Северного Кавказа

Для цитирования: Созаева Л. Т., Кагермазов А. Х. Оценка паводковой опасности на Центральном Кавказе на базе выходных данных глобальной модели атмосферы // Наука. Инновации. Технологии. 2026. № 3. С. 127–142. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2026.3.5>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 12.07.2026;
одобрена после рецензирования 06.09.2026;
принята к публикации 17.09.2026.

1.6.18. Atmospheric and climate Sciences (Physical and Mathematical Sciences) Research article

Assessment of flood hazard in the Central Caucasus based on output data of the global atmospheric model

**Lezhinka T. Sozaeva^{1*},
Artur Kh. Kagermazov²**

^{1,2} High-Mountain Geophysical Institute (2, Lenin Avenue, Nalchik, 360001, Russian Federation)

¹ ijk_62@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9840-3566>

² ka5408@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8126-6008>

* Corresponding author

Abstract.

The paper presents a method for predicting flood hazards based on the integration of predictive data from the NCEP GFS (Global Forecast System) global atmosphere model into a statistical scheme. The relevance of the study is driven by the increasing frequency and destructiveness of floods affecting infrastructure, as well as the scarcity of the ground-based hydrometeorological network in the mountainous regions of the Northern Caucasus. It is proposed to compensate for the information deficit of spatially distributed data by utilizing hydrometeorological fields from global numerical modeling. The aim of the work is to develop a predictive model that links the thermodynamic parameters of the atmosphere, precipitation amounts, and the excess water levels in rivers above the datum line (average long-term level). The research materials included archival data from hydrological field observations of floods and the associated synoptic conditions. To identify predictors of hazardous convective phenomena, the vertical profiles of temperature, humidity, and wind velocity vectors on standard isobaric surfaces were analyzed. The application of multiple regression analysis methods in the SPSS software environment yielded equations describing the relationship between flood intensity, total precipitation over the preceding three days, and the expected amount of precipitation on the day of runoff formation. Extreme precipitation forecasting for the current day is based on regression relationships of atmospheric thermodynamic indices extracted from the GFS Global Model. The implementation results of the developed approach will enable warnings of adverse weather conditions 24 hours prior to their onset. This time interval optimizes the decision-making process for government authorities and civil protection units when planning preventive measures in areas prone to catastrophic floods.

Keywords:

global atmosphere model, thermodynamic parameters, extreme precipitation, hydrological regime, flood hazard, Central part of the North Caucasus

For citation:

Sozaeva LT, Kagermazov AKh. Assessment of flood hazard in the Central Caucasus based on output data of the global atmospheric model. *Science. Innovations. Technologies.* 2026;(3):127–142. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2026.3.5>

Conflict of interest: The authors are not aware of any potential conflict of interests related to this manuscript.

The article was submitted 12.07.2026;
approved after reviewing 06.09.2026;
accepted for publication 17.09.2026.

Введение

Интенсификация глобальных и региональных изменений климата, происходящая в последнее время, коррелирует со стабильным ростом частоты и масштабов возникновения природных катастроф. Юг Европейской территории России относится к макрорегионам с высоким уровнем паводковой опасности. Социально-экономические риски обусловлены высокой плотностью урбанизации речных долин, а также индустриализацией и интенсивной агроиндустриализацией прибрежных зон.

За последние 25 лет максимальная частота гидрологических опасных явлений, вызванных достижением или превышением опасных отметок уровня воды, отмечалось в Карачаево-Черкесской Республике (23,9 %), в Кабардино-Балкарской Республике (21,7 %) и Республике Дагестан (17,4 %). Наименьшее – в Республике Ингушетия и Ставропольском крае (по 6,5 %). [11]. Только в Ставропольском крае ежегодный ущерб от прохождения рядовых паводков составляет около 300 млн рублей, а при паводках редкой повторяемости возрастает до 1,2 млрд рублей [11]. Половодье рек рассматриваемого региона отличается катастрофической динамикой и сопровождается запуском разрушительных русловых и поверхностных явлений, включая сильные селевые потоки [8, 18]. Данные события также влекут за собой многомиллиардный экономический ущерб, а социальные последствия включают нарушения систем жизнеобеспечения и гибель людей.

Стремительный рост уязвимости территорий усугубляется низкой эффективностью оперативного прогнозирования гидрологических рисков. Данная проблема вызвана высокой разрежённостью или полным отсутствием наземной гидрометеорологической сети в труднодоступных высокогорных и предгорных бассейнах [13].

В современных условиях информационное обеспечение систем раннего предупреждения об опасных явлениях конвективного генезиса претерпевает кардинальные изменения. Развитие суперкомпьютерных вычислений и сетевых протоколов обмена данными открыло оперативный доступ к верифицированным гидрометеорологическим полям глобальных моделей атмосферы высокого разрешения. Это создает репрезентативную методологическую базу для модернизации существующих числовых прогностических алгоритмов [15, 16].

В настоящем исследовании для краткосрочного прогнозирования паводкообразующих осадков и экспресс-оценки гидрологической ситуации предлагается оригинальный статистический подход, основанный на концепции интерпретации выходной продукции численных моделей (Model Output Statistics – MOS), с привлечением широкого спектра термодинамических параметров атмосферы, в отличие от известных региональных методик [1, 2, 9, 10, 14]. Расчет предикторов осуществлялся на основе выходных данных Глобальной модели атмосферы GFS NCEP [17].

Согласно концепции MOS, главным условием является неизменность прогностической гидродинамической схемы. Используемая выходная продукция модели (поля температуры, влажности, скорости и направления ветра) служит аналогом результатов фактического аэрологического зондирования. Высокая надежность полей с заблаговременностью 12–24 часа подкрепляется результатами валидации: коэффициенты корреляции с реальными данными составляют 0,9 и выше [3–5]. Статистическое сходство метеорологических характеристик подтверждает правомерность применения Глобальных моделей для выявления опасных метеорологических условий.

Для осуществления предлагаемой схемы прогноза паводков решаются следующие задачи:

- разработка регрессионной модели оценки количества осадков по параметрам атмосферы;
- оценка превышения уровня воды в реке над ординаром для прогнозирования паводков.

Научная новизна исследования заключается в применении концепции MOS к физико-географической и синоптической обстановке Центрального Кавказа (Ставропольский край, КЧР, КБР), что гарантирует универсализацию разработанного алгоритма прогноза гидрологического состояния речных систем с ливневым генезисом паводков.

Материалы и методы исследований

Полевую базу настоящего исследования составили архивные данные об опасных гидрометеорологических явлениях, предоставленные Северо-Кавказским управлением по гидрометео-

рологии и мониторингу окружающей среды и данные официального портала Росгидромета [12].

В частности, были отобраны дни с наличием ливневых осадков и паводков. В качестве анализируемых параметров использовались суточный слой ливневых осадков (QL, mm) и величины превышения уровня воды в руслах рек над ординаром (H, cm). Расчет предикторов в рамках статистической модели прогнозирования интенсивных ливней и паводков осуществляется на основе полей метеорологических параметров. Данные параметры извлечены из выходной продукции глобальной модели GFS. Версии v16/v17 этой модели функционирует на базе ядра FV3 с горизонтальным разрешением ~ 13 км (прогноз до 16 суток) и 127 вертикальными уровнями. Подобная архитектура значительно точнее моделирует термодинамику тропосферы, чем ранние спектральные аналоги.

Ранее было установлено [6, 7], что на генезис конвективных явлений (град, ливни) ключевое влияние оказывают следующие параметры атмосферы:

- скорость упорядоченного подъема воздуха на уровне 700 гПа (V_{700});
- суммарная удельная влажность в слое от поверхности земли до 500 гПа (SQZ_5);
- энергетическая характеристика подоблачного слоя (DSS);
- средний дефицит влажности в слое от уровня конденсации до высоты 5 км от поверхности земли ($TDRS_5$);
- термодинамический индекс неустойчивости атмосферы Миллера ($TTMI$).

Отметим, что энергетическая характеристика подоблачного слоя – параметр, определяющий разность между полезной работой подъемной силы при вертикальном перемещении воздуха и затратами энергии на испарение падающих сверху осадков и преодоления сопротивления окружающей среды. Индекс Миллера оценивает неустойчивость атмосферы через сумму вертикального градиента температуры в слое 850–500 гПа и влагосодержания на

уровне 850 гПа (разность между температурой точки росы на уровне 850 гПа и температурой на уровне 500 гПа).

Методом исследования выбран линейный регрессионный анализ на базе пакета программ SPSS.

Результаты исследований и их обсуждение

Известно, что регрессионный анализ сводится к определению коэффициентов параметров и свободного члена уравнения, расчету критериев, характеризующих статистическую значимость и практическую применимость модели.

В данном случае зависимость количества ливневых осадков (QL) от параметров атмосферы представлена в виде следующего линейного уравнения:

$$QL = a \cdot V_{700} + b \cdot SQZ_5 + c \cdot DSS + d \cdot TDSR_5 + e \cdot TTMI + const, \quad (1)$$

где a, b, c, d, e – коэффициенты;
 $const$ – свободный член.

Параметры атмосферы (V_{700} , SQZ_5 , DSS , $TDSR_5$ и $TTMI$), были приняты в качестве независимых переменных, а фактическое количество осадков (QL) – зависимой переменной.

В ходе исследования методом Backward Elimination (пошаговое обратное исключение) из уравнения в общем виде (1) была исключена независимая переменная DSS (энергетическая характеристика подоблачного слоя), так как её влияние на количество ливневых осадков оказалось статистически незначимым ($p \geq 0,05$). Низкая прогностическая значимость этого параметра атмосферы не отменяет его физическую роль в качестве начального энергетического потенциала запуска конвекции в приземном слое.

В результате получено уравнение:

$$QL = -0,39 \cdot V_{700} - 1,03 \cdot SQZ_5 + 2,3 \cdot TDSR_5 + 2,03 \cdot TTMI - 14,4. \quad (2)$$

Модель (2) демонстрирует умеренную предсказательную способность и хорошие статистические свойства. Множе-

ственный коэффициент корреляции $R^2 = 0,67$ свидетельствует о наличии достаточно сильной (заметной) связи между метеорологическими параметрами и количеством ливневых осадков. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,45$ означает, что построенная модель объясняет 45 % вариации количества ливневых осадков. Оставшиеся 55 % формируются за счет орографических факторов и локальной конвекцией, которые не учтены в модели. Критерий Дарбина-Уотсона (равный 1,8 и близкий к 2,0) говорит об отсутствии автокорреляционной зависимости в остатках модели и подтверждает корректность расчетного уравнения.

Результаты тестирования на коллинеарность указывают на отсутствие эффекта мультиколлинеарности (линейной зависимости) между независимыми переменными (толерантность для всех предикторов находится в диапазоне $0,84 \div 0,99$, что выше критического порога 0,1); фактор инфляции дисперсии $1,1 \div 1,3$ ниже критического значения 5).

Степень влияния каждой независимой переменной на количество осадков оценивается по стандартизированным коэффициентам β . Самым значимым фактором является средний дефицит влажности $TDSR_5$ ($\beta = -0,36$), чем он меньше (то есть чем ближе воздух к состоянию насыщения в слое до 5 км), тем выше интенсивность ливневых осадков. Индекс неустойчивости Миллера $TTMI$ ($\beta = 0,3$) – следующий по значимости фактор; его рост приводит к интенсификации конвективных процессов и увеличению количества ливневых осадков. Суммарная удельная влажность SQZ_5 и скорость упорядоченного подъема воздуха V_{700} имеют одинаковую силу влияния ($\beta = -0,2$).

Физическая адекватность уравнения (2) подтверждается знаками его коэффициентов: восходящие движения $V_{700} < 0$, обеспечивают положительный вклад в сумму осадков QL , а отрицательный коэффициент при влажности SQZ указывает на интенсивное вымывание влагозапаса атмосферы при выпадении ливневых осадков, когда общее влагосодержание лавинообразно снижается. Наличие отрицательного свободного члена ограничивает область применения модели диапазоном развитой конвекции, при котором совместный вклад предикторов компенсирует эту константу.

Таким образом, полученная модель корректно описывает конвективный процесс через параметры неустойчивости, дефицита насыщения и динамического подъема.

Трудности моделирования стока связаны со сложной пространственно-временной изменчивостью потерь влаги, испарения и фильтрации в бассейне. Поскольку строго учесть предысторию увлажнения и скорость добегания воды математически крайне сложно, для прогноза паводков целесообразно использовать статистический аппарат. Время добегания руслового стока и формирования паводка в исследуемом регионе составляет в среднем около семи суток, однако этот период варьирует в зависимости от исходной влагонасыщенности почв и интенсивности притока. В связи с этим при выборе статистических предикторов учитывались объемы осадков, выпавших как непосредственно в день подъема воды, так и в предшествующую неделю. Пошаговый анализ выявил, что наибольшей прогностической способностью обладает количество осадков за трое суток до начала паводка (Q_f , мм) и в день его проявления (Q_p , мм).

С другой стороны, главным критерием оценки масштаба паводка выступает величина превышения уровня воды в русле реки над ординаром H , см.

Поэтому модель записывается в виде линейного регрессионного уравнения:

$$H = a \cdot Q_f - b \cdot Q_p + \text{const}, \quad (3)$$

где a, b – коэффициенты; const – свободный член.

В результате регрессионного анализа получено уравнение:

$$H = 2,03 \cdot Q_f - 6,21 \cdot Q_p + 423,18. \quad (4)$$

позволяющее предсказывать величину превышения уровня воды над ординаром, наблюдаемые при сильных ливнях.

Метрики оценки статистической значимости прикладной адекватности регрессионного уравнения (4) (коэффициент корреля-

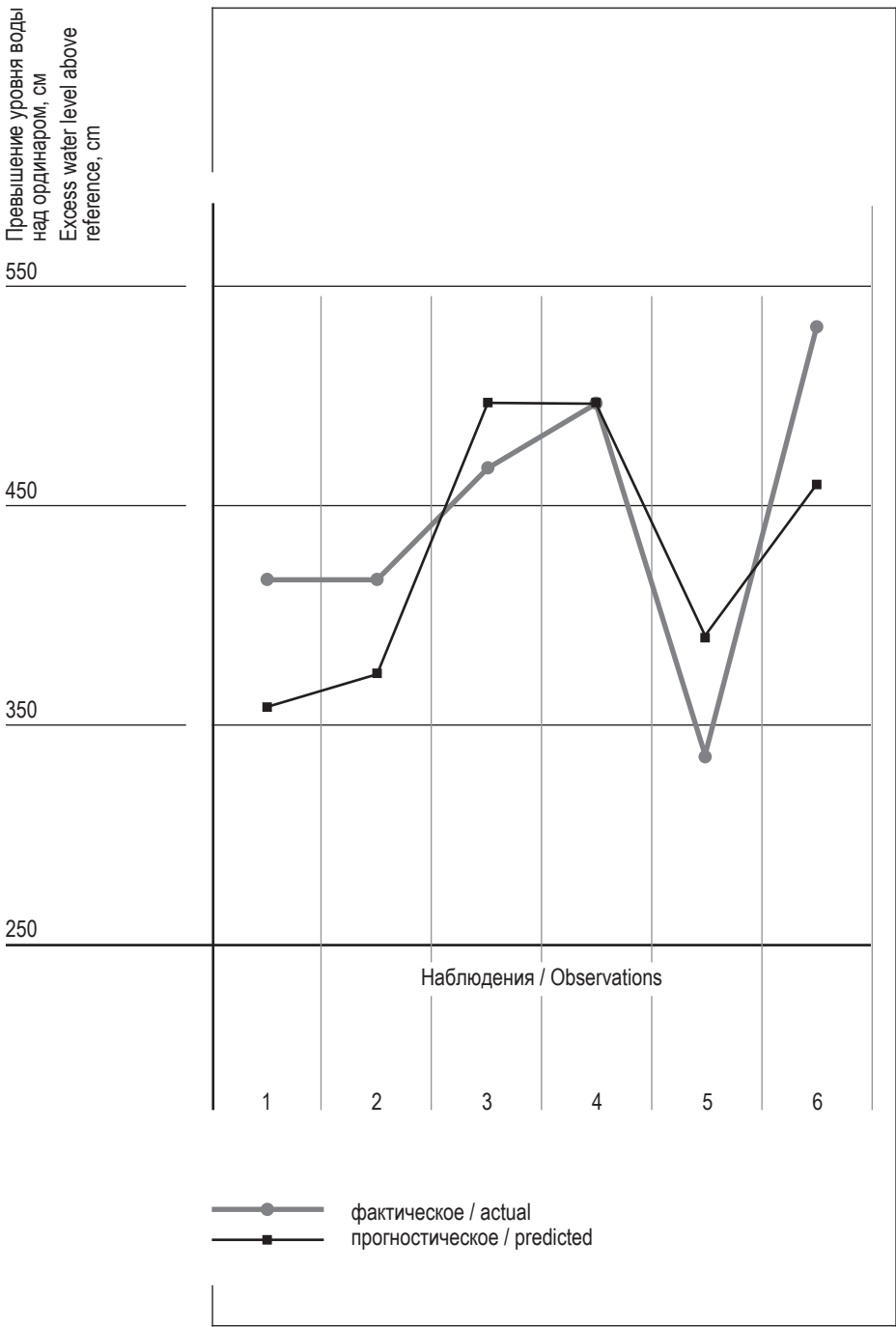


Рис. 1. Предсказанные и фактические значения превышения уровня воды над ординаром.
Fig. 1. Predicted and actual values of water level above normal.
Источник: составлено авторами.
Source: compiled by the authors.

ции $R = 0,76$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,58$, анализ остатков и т.д.) свидетельствуют о том, что построенная модель адекватна и обладает высокой прогностической способностью для оценки значения превышения уровня воды над ординаром. При этом Q_f может быть известно из полевых данных, а Q_p спрогнозировано по уравнению (2).

Свободный член в уравнении (4) характеризует базисный уровень водотока в меженный период при отсутствии осадков (Q_f , Q_p), отражая превышение текущей межени над историческим ординаром. Само уравнение не содержит фиксированной критической отметки, но позволяет рассчитать порог опасного гидрологического отклика. Подставив в левую часть уравнения (4) критический уровень начала затопления поймы $H_{кр}$, можно математически определить опасный объем осадков Q_f для различных сценариев текущего увлажнения Q_p .

На рисунке 1 приведены некоторые предсказанные значения превышения уровня воды над ординаром по модели (4) в сравнении с фактическими данными.

Предсказанные значения согласуются с фактическими данными, ошибка прогноза MAPE (Mean Absolute Percentage Error) составила около 15 %.

Заключение

В контексте условий Центральной части Северного Кавказа предложена статистически корректная модель краткосрочного прогноза паводков, основанная на предварительной оценке количества ливневых осадков по метеорологическим параметрам, рассчитанным по данным Глобальной модели атмосферы с заблаговременностью 24 часа до явления. Предложенный подход опирается на природные механизмы протекания паводков и перспективен для практического использования в оперативно-прогностических подразделениях Росгидромета.

Список источников

1. Моделирование быстроразвивающихся паводков на малых реках Северного Кавказа с использованием сов-

- ременных данных автоматизированной гидрометеорологической сети / Е. С. Васильева, П. А. Белякова, А. И. Алексюк, Н. В. Селезнева, В. В. Беликов // Водные ресурсы. 2021. № 2 (48). С. 135–146. <https://doi/10.31857/S0321059621020164>
2. Геоинформационное моделирование зон подтопления горных территорий Северного Кавказа на основе спутниковых и метеорологических данных / О. С. Ермолаева, С. О. Курашкин, О. С. Пучкова, А. В. Бабкина, О. В. Иванов // Геология и геофизика Юга России. 2026. № 2 (16). С. 244–255. <https://doi/10.46698/VNC.2026.61.21.001>
 3. О возможности использования выходной продукции глобальной модели атмосферы GFS NCEP в экологических исследованиях / М. Ч. Залиханов, А. Х. Кагермазов, Л. Т. Созаева, К. М. Беккиев // Геология и геофизика Юга России. 2021. № 4 (11). С. 161–169. <https://doi/10.46698/VNC.2021.16.85.013>
 4. Кагермазов А. Х., Созаева Л. Т. Валидация выходных данных глобальной модели атмосферы в дни с развитием конвекции по данным аэрологического зондирования с двухсуточной заблаговременностью // Труды ГГО. 2019. Вып. 593. С. 150–159.
 5. Кагермазов А. Х., Созаева Л. Т. Валидация прогностических полей метеоэлементов глобальной модели атмосферы на средние сроки по данным аэрологического зондирования для Центральной части Северного Кавказа // Труды ГГО. 2020. Вып. 599. С. 104–114.
 6. Кагермазов А. Х., Созаева Л. Т. Использование глобальной модели атмосферы (GFS NCEP) для прогноза грозоговых процессов с заблаговременностью до пяти суток // Гидрометеорология и экология. 2021. № 65. С. 671–680.
 7. Кагермазов А. Х. Цифровая атмосфера. Современные методы и методология исследования опасных метеорологических процессов и явлений. Нальчик: Печатный двор, 2015. 215 с.
 8. Селевая активность в горах Центрального Кавказа в 2025 году / В. А. Караваев, А. Н. Гуня, С. В. Харченко, С. С. Семиноженко // Геология и геофизика Юга России. 2025. № 4 (15). С. 259–296. <https://doi/10.46698/q1139-5846-0507-q>
 9. Корчагина Е. А. Долгосрочные изменения режима атмосферных осадков как фактора формирования опасностей

- гидрологического характера в горной зоне Республики Дагестан // Геология и геофизика Юга России. 2024. № 4 (14). С. 192–205. <https://doi/10.46698/VNC.2024.81.30.016>
10. Мальнева И. В., Кононова Н. К., Хаджиев М. М. Техногенное воздействие на развитие опасных геологических процессов на территории Северного Кавказа // Жизнь Земли. 2020. № 4 (43). С. 437–450. https://doi/10.29003/m2508.0514-7468.2020_43_4/437-450
 11. Масштабы и опасность наводнений на Северном Кавказе / В. В. Разумов, М. Ю. Беккиев, Н. В. Разумова, С. И. Шагин // Наука. Инновации. Технологии. 2018. № 1. С. 143–160.
 12. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) // Официальный сайт. URL: <https://meteorf.gov.ru> [дата обращения: 08.07.2026].
 13. Юмина Н. М., Рец Е. П. Совершенствование системы мониторинга опасных паводков на реках Северного Кавказа // Водное хозяйство России. 2012. № 1. С. 47–62.
 14. Юмина Н. М. Паводочный сток рек Северного Кавказа // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2008. № 2. С. 51–56.
 15. Dueben P., Wedi N., Saarinen S., Zeman C. Global simulations of the atmosphere at 1.45 km grid-spacing with the integrated forecasting system. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 2020. Ser. II. Vol. 98 No 3. pp. 551–572. <https://doi/10.2151/jmsj.2020-016>
 16. Haiden T., Janousek M., Vitart F., Ferranti L., Prates F. Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2019 upgrade. ECMWF Technical Memorandum. 2019. No 853. 54 p.
 17. National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Global Forecast System (GFS): Global Operational Forecast System. National Weather Service, NOAA. [Electronic resource]. URL: <https://noaa.gov> [accessed: 8 July 2026].
 18. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Melkov D.A. Landslide risk in mountain areas. *Geology of the South of Russia*. 2019. Vol. 9 No 2. pp. 109–127. <https://doi/10.23671/VNC.2019.2.31981>

References

1. Vasileva ES, Belyakova PA, Alekseyuk AI, Selezneva NV, Belikov VV. Modeling flash floods on small rivers of the North Caucasus using modern data from an automated hydrome-

- teorological network. *Vodnyye resursy* = Water Resources. 2021;2(48):135-146. <https://doi/10.31857/S0321059621020164> (In Russ.).
2. Ermolaeva OS, Kurashkin SO, Puchkova OS, Babkina AV, Ivanov OV. Geoinformation modeling of flood zones in mountainous areas of the North Caucasus based on satellite and meteorological data. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii* = Geology and Geophysics of Russian South. 2026; 2(16):244-255. <https://doi/10.46698/VNC.2026.61.21> (In Russ.).
 3. Zalikhanov MCh, Kagermazov AKh, Sozaeva LT, Bekkiev KM. About the possibility of using the output data of the global atmosphere model GFS NCEP in ecological research. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii* = Geology and Geophysics of Russian South. 2021;4(11):161-169. <https://doi/10.46698/VNC.2021.16.85.013> (In Russ.).
 4. Kagermazov AKh, Sozaeva LT. Validation of the output data of the global atmospheric model on days with the development of convection according to aerological sounding data with a two-day advance. *Trudy GGO* = Proceedings of GGO. 2019; 593:150-159. (In Russ.).
 5. Kagermazov AKh, Sozaeva LT. Validation of prognostic fields of meteorological elements of the global atmospheric model for an average time according to aerological sounding data for the Central part of the North Caucasus. *Trudy GGO* = Proceedings of GGO. 2020; 599:104-114. (In Russ.).
 6. Kagermazov AKh, Sozaeva LT. The use of the global atmospheric model (GFS NCEP) for forecasting thunderstorm processes with an advance time of up to five days. *Gidrometeorologiya i ekologiya* = Hydrometeorology and Ecology. 2021;65:671-680. (In Russ.).
 7. Kagermazov AKh. Digital atmosphere. Modern methods and methodology for the study of dangerous meteorological processes and phenomena. Nalchik: Pechatnyy dvor; 2015. 215 p. (In Russ.).
 8. Karavaev VA, Gunya AN, Kharchenko SV, Seminozhenko SS. Debris flow activity in the Central Caucasus Mountains in 2025. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii* = Geology and Geophysics of Russian South. 2025;4(15):259-269. <https://doi/10.46698/q1139-5846-0507-q> (In Russ.).
 9. Korchagina EA. Long-term changes in the precipitation regime as a factor of the hydrological hazards' formation in

- the mountainous zone of the Dagestan Republic. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2024; 4(16):192-205. <https://doi/10.46698/VNC.2024.81.30.016> (In Russ.).
10. Malneva IV, Kononova NK, Khadzhiev MM. Technogenic impact on the development of hazardous geological processes in the North Caucasus. *Zhizn' Zemli = Life of the Earth*. 2021;4(43):437-450. <https://doi/10.29003/m2508.0514-7468.2020434/437-450>. (In Russ.).
 11. Razumov VV, Bekkiev MY, Razumova NV, Shagin SI. Scales and danger of floods in the North Caucasus. *Science. Innovations. Technologies*. 2018; (1):143-160. (In Russ.).
 12. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet) (2026) Official website. Available at: meteorf.gov.ru [Accessed 8 July 2026].
 13. Yumina NM, Rets YP. Improving the monitoring system for dangerous floods on the rivers of the North Caucasus. *Vodnoye khozyaystvo Rossii = Water Sector of Russia*. 2012; (1):47-62. (In Russ.).
 14. Yumina NM. Flood runoff of the North Caucasus rivers. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya = Lomonosov Geography Journal*. 2008;(2):51-56. (In Russ.).
 15. Dueben P, Wedi N, Saarinen S, Zeman C. Global simulations of the atmosphere at 1.45 km grid-spacing with the integrated forecasting system. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 2020;3(98):551-572. <https://doi/10.2151/jmsj.2020-016>
 16. Haiden T, Janousek M, Vitart F, Ferranti L, Prates F. Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2019 upgrade. *ECMWF Technical Memorandum*. 2019; 853:54.
 17. National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (2026) Global Forecast System (GFS): Global Operational Forecast System. National Weather Service, NOAA. Available at: noaa.gov [Accessed 8 July 2026].
 18. Svalova VB, Zaalishvili VB, Ganapathy GP, Nikolaev AV, Melkov DA. Landslide risk in mountain areas. *Geology of the South of Russia*. 2019;2(9):109-127. <https://doi/10.23671/VNC.2019.2.31981>

Информация об авторах

Лежинка Танашевна Созаева – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Scopus ID: 57204527832, Researcher ID: AIC-6568-2022.

Кагермазов Артур Хасанбиевич – заведующий лабораторией атмосферных конвективных явлений, кандидат физико-математических наук, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Scopus ID: 55185153100.

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Lezhinka T. Sozaeva – Cand. Sci. (Physics and Maths), Associate Professor, senior research associate of the laboratory of atmospheric convective phenomena, Federal state budgetary institution High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57204527832, Researcher ID: AIC-6568-2022.

Artur Kh. Kagermazov – Cand. Sci. (Physics and Maths), head of the laboratory of atmospheric convective phenomena, Federal state budgetary institution High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 55185153100.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.