

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Мироненко Анастасия Александровна

**Особенности формирования и оценка опасности наводнений
на Северном Кавказе**

1.6.16 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2023

Диссертация подготовлена на кафедре гидрологии суши
Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

- Научный руководитель** – *Фролова Наталья Леонидовна,*
доктор географических наук, доцент
- Официальные оппоненты** – *Гармаев Ендон Жамьянович,*
доктор географических наук, чл.-корр.
РАН, директор Байкальского института
природопользования СО РАН
- Дмитриева Вера Александровна,*
доктор географических наук, доцент,
профессор кафедры природопользования
факультета географии, геоэкологии
и туризма ФГБОУ «Воронежский
государственный университет»
- Морейдо Всеволод Михайлович,*
кандидат географических наук,
зав. лабораторией гидроинформатики,
старший научный сотрудник отдела
гидрологии речных бассейнов Института
водных проблем РАН

Защита диссертации состоится «23» ноября 2023 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета МГУ.016.2 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы д. 1, ГЗ МГУ, Географический факультет, 18 этаж, ауд. 1801 (тел. +7(495)9392238, факс +7 (495)9328836).

E-mail: Diss1102MSU@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале <https://dissovet.msu.ru/dissertation/016.2/2681>

Автореферат разослан « » октября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук

А.В. Ольчев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Северный Кавказ – регион России, природа которого таит в себе небывалое могущество и силу, зачастую разрушительную, несущую серьезную угрозу человеческим жизням и материальным ценностям. Таким грозным величественным могуществом обладают и горные реки.

Изучению рек Северного Кавказа посвящено множество научных трудов [Важнов, 1966; Лурье, 2002; Лурье, Панов, Ткаченко, 2005; Прогнозирование стока..., 2007; Комлев, Мельникова, 2008; Мельникова, 2011, 2014; Панов, Базелюк, Лурье, 2012; Юмина, Рец, 2012; Численное гидродинамическое моделирование..., 2014; Белякова, 2015; Шевердяев, 2017; Rets, Durmanov, Kireeva, 2019 и др.]. Сложно расчлененный горный рельеф, наличие высокогорного ледово-снежного питания в течение теплого периода года и высокая интенсивность осадков являются главными предпосылками особого гидрологического режима, формирующегося на протекающих по территории Северного Кавказа реках. В исследуемом регионе повсеместно распространены опасные гидрологические процессы. Особенно остро стоят проблемы, связанные с прохождением паводков на реках и зачастую сопутствующими им наводнениями.

Изучению наводнений на реках посвящено большое число работ [Гинко, 1977; Нежиховский, 1988; Авакян, Истомина, 2000; Доброумов, Тумановская, 2002; Воробьев, Акимов, Соколов, 2003; Добровольский, Истомина, 2006; Таратунин, 2008; Асарин, Болгов, 2010 и др.]. Результаты исследований наводнений на реках Северного Кавказа представлены во многих трудах [Иванов, Михайлов, Магрицкий, 2003; Базелюк, Лурье, 2008; Магрицкий, Иванов, 2011; Магрицкий, 2011, 2014; Базелюк, 2012; Катастрофические паводки..., 2013; Магрицкий, Самохин, Юмина, 2013; Алексеевский, Магрицкий, Колтерманн, 2016].

Помимо того, что физико-географическое положение изучаемой территории располагает к прохождению экстремальных паводков и формированию катастрофических наводнений на реках, в регионе в последние десятилетия наблюдается рост числа и интенсивности наводнений вследствие изменения климата в сторону увеличения экстремальности осадков [Золина,

Булыгина, 2016], что усугубляет их прохождение [Фалеев, Черных, Старостин, 2014; Алексеевский, Магрицкий, Колтерманн, 2016; Hydrological hazards..., 2017]. Всё чаще наблюдаются катастрофические последствия паводков – нанесение ущерба объектам жилого фонда и инфраструктуры, сельского хозяйства, личному имуществу. Все это приводит к значительным материальным ущербам, наносит вред жизни и здоровью населения и порой становится причиной человеческих жертв.

Характеристика различных аспектов опасности наводнений на Северном Кавказе и результаты их картографирования представлены в ряде работ [Национальный атлас..., 2007; Россия в борьбе..., 2007; Атлас природных..., 2008; Шагин, 2010; Земцов, Крыленко, Юмина, 2012; Гладкевич и др., 2012; Hydrological hazards..., 2017]. Описание мер в целях минимизации и смягчения негативных последствий наводнений занимает особое место в научной литературе [El-Masri, Tipple, 2002; Paron, 2012; Keskitalo, Carina, 2013].

Анализ характеристик максимального стока рек является неотъемлемой частью при оценке опасности природных наводнений и выявлении основных закономерностей их пространственно-временного распределения в регионе. Изучение опасности наводнений на реках позволяет оценить возможные ущербы в денежном эквиваленте при их прохождении, а также в большинстве случаев предупредить катастрофические последствия.

Многообразие подходов, широкий перечень используемых показателей, входных данных и неоднозначность терминологии не позволяют прийти к общему знаменателю при оценке опасности наводнений на реках, протекающих в различных регионах, что обуславливает необходимость разработки единой унифицированной методики.

Объект исследования – реки, протекающие по территории Северного Кавказа.

Предмет исследования – стоковые наводнения на реках в период половодья и дождевых паводков, пространственно-временная изменчивость характеристик максимального стока рек, ущерб от наводнений на реках.

Цель исследования – проведение комплексной оценки современной опасности наводнений на реках Северного Кавказа.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- 1) анализ факторов формирования стока рек;
- 2) формирование базы гидрологических данных с характеристиками максимального стока;
- 3) анализ пространственно-временной изменчивости характеристик максимального стока;
- 4) оценка вклада русловых деформаций в формирование максимальных уровней воды;
- 5) исследование сезонности прохождения максимальных уровней воды;
- 6) анализ существующих подходов к картографированию опасности наводнений, выбор наиболее оптимального подхода для территории Северного Кавказа;
- 7) обзор и анализ картографических изображений, посвященных опасности наводнений на реках Северного Кавказа;
- 8) анализ применяемых в РФ методик оценки ущерба;
- 9) разработка методического инструментария оценки ущерба от наводнений на реках и их апробация на примере отдельных прилегающих к рекам Северного Кавказа участков.

Материалы и методы исследования. Основными источниками данных о характеристиках максимального стока рек Северного Кавказа являются издания Государственного водного кадастра Северо-Кавказского УГМС. Среди них – «Гидрологические ежегодники» за 1936–1977 гг., «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» за 1978–2008 гг., а также основные гидрологические характеристики и многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Данные о характеристиках максимального стока за 2008–2017 гг. получены из АИС ГМВО [<https://gmvo.skniivh.ru/>]. Источником сведений об отметках неблагоприятных и опасных природных (гидрологических) явлений по постам на реках Северного Кавказа стал Приказ ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» от 26.02.2016 г. № 22 [Положение об опасных явлениях, 2016].

В качестве основных гидрологических характеристик в диссертационной работе рассмотрены максимальные срочные годовые уровни воды (H_{max}) и даты их прохождения, максимальные срочные годовые расходы воды (Q_{max}), отметки уровней неблагоприятных ($H_{НЯ}$) и опасных явлений ($H_{ОЯ}$).

Для анализа характеристик максимального стока рек Северного Кавказа выбран период 1961–2017 гг. (рассматриваемый период).

Ввиду неоднозначности результатов Pettitt-теста, примененного к рядам максимальных срочных годовых уровней воды, определившего год перелома между 1985 и 2005 гг., принято решение ориентироваться на руководящие указания Всемирной метеорологической организации по расчету климатических норм и выбрать в качестве граничного 1990 год. Таким образом, в рамках данного исследования рассмотрены два периода – 1961–1990 гг. (первый период) и 1991–2017 гг. (второй период).

Для оценки изменчивости рядов максимальных срочных годовых уровней воды к рядам применены инструменты статистического анализа. Уровень значимости статистических критериев α принят равным 0,05.

Для выявления частоты и числа случаев превышения уровней неблагоприятных (НЯ) и опасных явлений (ОЯ) ряды максимальных срочных годовых уровней воды исследуемых гидрологических постов сопоставлены с отметками НЯ и ОЯ за период 1961–2017 гг.

Оценка вклада русловых деформаций в формирование максимальных уровней воды в створах гидрологических постов проведена на основе анализа зависимостей между максимальными срочными годовыми уровнями и расходами воды вида $Q_{max} = f(H_{max})$.

Чтобы установить характер сезонного распределения прохождения максимальных уровней воды рек Северного Кавказа за рассматриваемый период, определены сезоны, в которые наблюдались максимальные уровни воды в створах гидрологических постов. Рассчитана повторяемость наступления максимальных уровней воды в каждый из сезонов за рассматриваемый период, построены диаграммы сезонного распределения максимальных уровней воды рек исследуемого региона.

Анализ существующих картографических обобщений, посвященных опасности наводнений на реках Северного Кавказа, проведен на основе восемнадцати карт. Среди них – 3 карты уязвимости территории к наводнениям и природным источникам чрезвычайных ситуаций (ЧС) в целом, 5 карт опасности наводнений, 6 карт риска ЧС, в том числе наводнений, 3 карты повторяемости наводнений и ЧС, связанных с водным режимом, и одна карта подверженности территории наводнениям. В рамках анализа сопоставлены

подходы к оценке опасности наводнений, генерализации информации и районированию.

Апробация методики построения поверхности потенциального затопления участков рек Северного Кавказа выполнена на основе цифровой модели рельефа SRTM [Shuttle radar..., 2022] и сведений о максимальных исторических уровнях воды, зафиксированных на 252 гидрологических постах за период наблюдений 1932–2015 гг.

Разработка методического инструментария для оценки ущерба от наводнений осуществлялась на основе положений Методики МЧС [Об утверждении Методики..., 2020] и Единой межведомственной методики [Единая межведомственная методика..., 2004] с учетом результатов аналитического исследования отчетных данных о чрезвычайных ситуациях в РФ за 2016–2022 гг. В качестве исходных данных для оценки ущерба выбраны геопространственные сведения об объектах инфраструктуры населенных пунктов РФ, представленные в источнике Open Street Map. Для определения подверженных затоплению объектов использована полученная в ходе апробации методики граница затопления участков рек Северного Кавказа.

Защищаемые положения:

1. Высокие показатели повторяемости превышения отметок неблагоприятных и опасных явлений, на отдельных участках рек превосходящие 90%, и статистически значимый рост максимальных уровней воды в большинстве створов свидетельствуют о современном росте опасности наводнений на реках Северного Кавказа.

2. Разработанная классификация внутригодового распределения сроков прохождения максимальных уровней воды является основой районирования участков рек Северного Кавказа по характеру изменчивости этих сроков.

3. Предложенная методика построения поверхности потенциального затопления рек, основанная на использовании цифровой модели рельефа и данных о максимальных уровнях воды, позволяет произвести предварительную оценку местоположения границы затопления.

4. Разработанный методический инструментарий оценки ущерба от наводнений на реках раскрывает возможности применения действующей в РФ нормативно-законодательной базы оценки ущербов и позволяет определить размер ущерба в денежном эквиваленте.

Научная новизна. Выполнен анализ пространственно-временной изменчивости характеристик максимального стока, охватывающий территорию Северного Кавказа, на основе современных данных. Впервые для всей территории Северного Кавказа произведена оценка превышений отметок НЯ и ОЯ, выявлены наиболее опасные с точки зрения превышений таких отметок участки рек. Выполнена типизация внутригодового распределения сроков прохождения максимальных уровней воды, в рамках которой предложено районирование участков рек Северного Кавказа по характеру изменчивости этих сроков. Впервые для территории Северного Кавказа выполнен всесторонний анализ картографических обобщений, посвященных опасности наводнений на реках. Показаны различия в районировании территории по степени опасности наводнений, возникающие вследствие использования разнообразных подходов к определению опасности. Предложена методика построения поверхности потенциального затопления, основанная на использовании цифровой модели рельефа и данных о максимальных уровнях воды, впервые апробированная для участков рек Северного Кавказа. На основе действующей в РФ нормативно-правовой базы разработан методический инструментарий для оценки ущербов от наводнений на реках, реализованный для отдельных участков рек Северного Кавказа.

Полученные в рамках диссертационной работы результаты представлены в виде многочисленных картографических изображений.

Личный вклад автора. Автором диссертационного исследования:

- 1) сформирована обширная база гидрологических данных с характеристиками максимального стока рек Северного Кавказа;
- 2) выполнен всесторонний анализ современной изменчивости характеристик максимального стока рек Северного Кавказа;
- 3) выполнена типизация распределения максимальных уровней воды по сезонам, предложено районирование участков рек Северного Кавказа по сезонам прохождения максимальных уровней воды;
- 4) разработан и апробирован инструментарий для оценки ущерба от наводнений в денежном эквиваленте для отдельных участков рек Северного Кавказа.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты исследования представлены на многочисленных конференциях. Среди них – Всероссийская конференция с международным участием «74-е Герценовские чтения. География: развитие науки и образования» (Санкт-Петербург, 2021 г.), Международная научная конференция «Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов» («Опасные явления–III») (Ростов-на-Дону, 2021 г.), 6-я Международная научно-практическая конференция «Инновации в геологии, геофизике и географии – 2021» (Москва, 2021 г.), 10-я юбилейная Международная научно-практическая конференция «Экология речных бассейнов» (Суздаль, 2021 г.), 10-я Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование MARESEDU-2021» (Москва, 2021 г.), 4-й международный симпозиум «Науки о Земле: история, современные проблемы и перспективы» (Москва, 2022 г.), 13-й семинар молодых ученых ВУЗов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ (Набережные Челны, 2022 г.), 7-я международная научно-практическая конференция «Инновации в геологии, геофизике и географии – 2022» (2022 г.), Международная научно-практическая конференция «76-е Герценовские чтения. География: развитие науки и образования» (Санкт-Петербург, 2023 г.).

Практическая значимость. Разработанные методики могут быть внедрены в практику экстренных служб и других ведомств с целью оперативного выявления возможных опасных с точки зрения наводнений участков при прохождении уровней воды различной обеспеченности и оценки возможного ущерба от наводнений. Так, во-первых, предложенная методика построения поверхности затопления может быть использована при определении объема работ по установлению границ зон затопления в рамках исполнения постановления Правительства от 18.04.2014 г. № 360 [О зонах затопления..., 2014], например, для выявления количества населенных пунктов, для которых необходимо осуществлять такие работы. Во-вторых, данная методика может быть применена в практике страховых компаний для определения максимальных ущербов в результате прохождения экстремальных паводков на реках.

Использование рассмотренной методики построения поверхности потенциального затопления совместно с разработанным методическим инструментарием для оценки ущерба от наводнений на реках может быть полезно при формировании данных блока «Паспорт территорий» системы «Личный кабинет единой дежурно-диспетчерской службы муниципального образования (ЕДДС)» [О единой дежурно-диспетчерской..., 2022] автоматизированной информационно-управляющей системы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (АИУС РСЧС) в части следующих показателей риска природных ЧС: размер зоны вероятного затопления, возможное число погибших и пострадавших, возможный ущерб. Разработанные методики также могут быть применены при совершенствовании инструмента конструктора форм сведений информационной системы «Атлас опасностей и рисков» системы «Личный кабинет ЕДДС» АИУС РСЧС путем создания картографических образов опасности территорий, формирующихся на основе интегрированной оценки показателей интенсивности наводнений и размера возможного материального ущерба.

Полученные в рамках типизации внутригодового распределения сроков прохождения максимальных уровней воды и районирования участков рек Северного Кавказа результаты могут быть использованы в целях уточнения вероятности прохождения опасных паводков на реках исследуемого региона в различные сезоны года.

Результаты исследования вошли в отчеты по грантам РФФИ 17-77-10169 «Генезис современной паводковой опасности на Северном Кавказе: оценка, анализ, прогноз», РФФИ 20-35-70024 «Механизмы формирования речного стока и опасных гидрологических процессов в горных территориях в условиях нестационарного климата: современные экспериментальные и аналитические подходы к исследованию» и РФФИ 20-35-90120 «Особенности формирования и оценка опасности наводнений на реках Северного Кавказа».

Благодарности. Автор выражает благодарность Фроловой Наталье Леонидовне за научное руководство и всестороннюю помощь при написании кандидатской диссертации, Рец Екатерине Петровне за методическую поддержку при разработке структуры диссертации и ценные советы при обобщении полученных результатов. Автор признателен Харламову Максиму

Александровичу за важные рекомендации по улучшению программного кода для анализа изменчивости статистических параметров исследуемых рядов, Гизатуллину Алмазу Тимербулатовичу за помощь в разработке и апробации методики построения поверхности потенциального затопления рек Северного Кавказа, Мироненко Оксане Владимировне за помощь в адаптации существующих подходов к оценке ущербов от наводнений для отдельных участков рек Северного Кавказа, Козлову Фёдору Александровичу за предоставление сведений об осадках, наблюдаемых на метеорологических станциях в пределах Северного Кавказа, и помощь в интерпретации результатов их анализа. Автор также благодарен Жуку Виктору Архиповичу, Магрицкому Дмитрию Владимировичу, Самохину Михаилу Алексеевичу, Терскому Павлу Николаевичу и Киреевой Марии Борисовне за рекомендации по улучшению текста диссертации. Автор признателен учителю географии Бельской Ирине Вениаминовне за открытие географических горизонтов. Работу посвящаю моим маме, Мироненко Оксане Владимировне, бабушке, Обориной Наталии Владимировне, и дедушке, Оборину Владимиру Александровичу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 221 страницу, включая 68 рисунков, 19 таблиц и 23 приложения. Список использованных источников насчитывает 245 наименований, в том числе 55 на иностранных языках.

Во *Введении* раскрыта актуальность исследования, рассмотрено состояние изученности проблемы, представлены объект, предмет, цель, задачи и методы исследования, сформулированы защищаемые положения, раскрыты научная новизна и практическая значимость работы, приведены сведения о ее апробации. *Глава 1* посвящена анализу факторов формирования стока рек Северного Кавказа. В *Главе 2* представлены результаты анализа характеристик максимального стока рек Северного Кавказа. В *Главе 3* рассмотрены вопросы, связанные с картографированием опасности наводнений на реках, и предложена методика построения поверхности потенциального затопления для участков рек Северного Кавказа. В *Главе 4* осуществлен анализ действующей в

РФ нормативно-правовой базы оценки ущербов и предложен разработанный на ее основе методический инструментарий оценки ущербов от наводнений на реках, реализованный для отдельных участков Северного Кавказа. В *Заключении* представлены основные выводы.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение. Высокие показатели повторяемости превышения отметок неблагоприятных и опасных явлений, на отдельных участках рек превосходящие 90%, и статистически значимый рост максимальных уровней воды в большинстве створов свидетельствуют о современном росте опасности наводнений на реках Северного Кавказа.

На гидрологических постах, где зафиксировано статистически значимое нарушение однородности рядов максимальных срочных годовых уровней воды по математическому ожиданию, обнаружено повсеместное увеличение данной характеристики от первого ко второму периоду (рисунок 1а). Этот факт подкрепляется и данными метеорологов о том, что на большинстве метеорологических станций Северного Кавказа, где критерием Стьюдента для периода 1966–2012 гг. зафиксировано статистически значимое нарушение однородности абсолютных величин экстремальных осадков, наблюдается увеличение данных характеристик, особенно в летний период [Золина, Булыгина, 2016]. При этом экстремальные осадки на территории Северного Кавказа имеют преимущественно ливневой генезис [Климатология..., 2018]. Исследование нарушения однородности по дисперсии не позволяет сделать однозначные выводы (рисунок 1б).

Превышение *отметок НЯ* максимальными срочными годовыми уровнями воды за период 1961–2017 гг. зафиксировано на 42 гидрологических постах из 44. Повторяемость превышения отметок НЯ находится в диапазоне от 1,9 до 93,2% (рисунок 2а). Не наблюдались превышения отметок НЯ только на двух постах в бассейне Терека (с. Хангиш-Юрт и с. Хазнидон). Превышение *отметок ОЯ* установлено по данным 37 из 44 гидрологических постов: повторяемость превышения таких отметок здесь колеблется в диапазоне от 1,8 до 88,6% (рисунок 2б). На семи постах не зафиксированы превышения отметок ОЯ [Мироненко, Рец, Фролова, 2022].

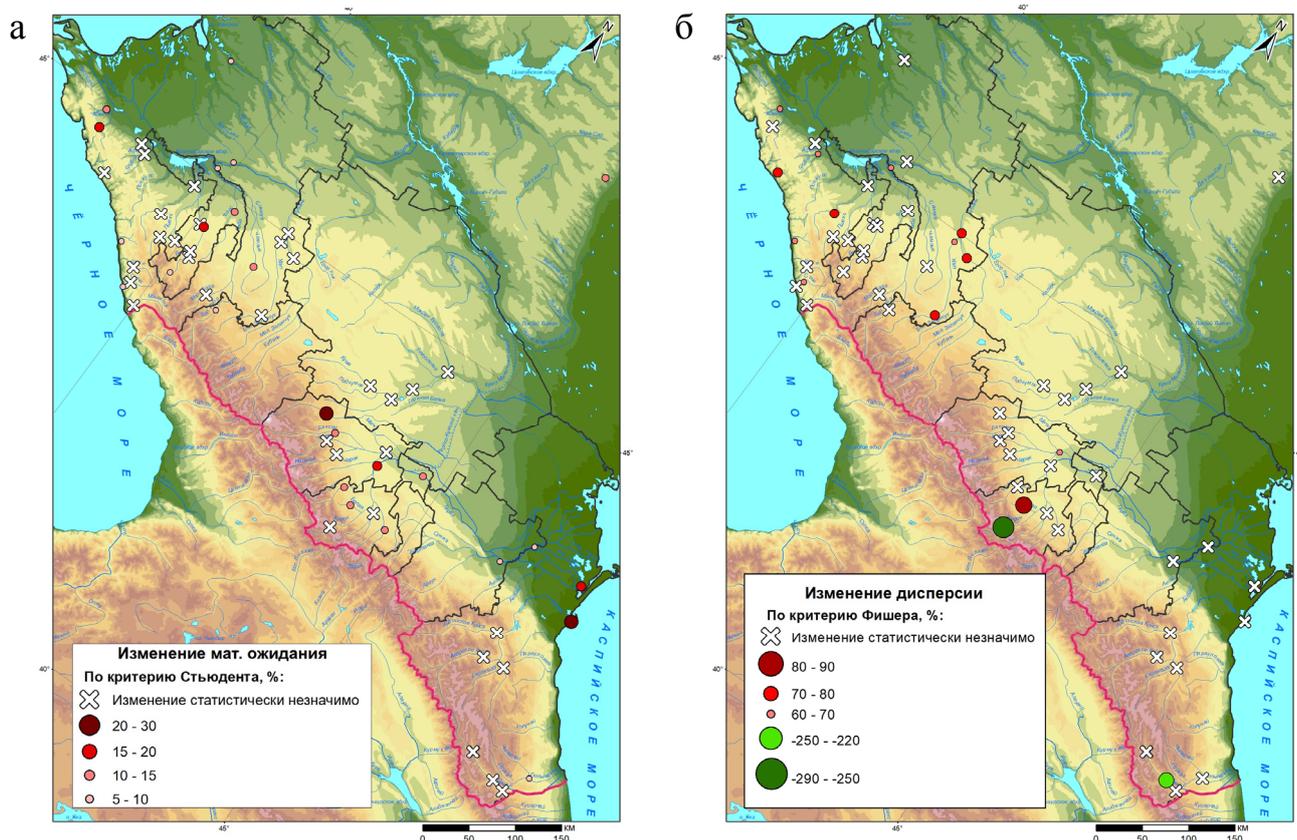


Рисунок 1 – Изменение математического ожидания (а) и дисперсии (б) рядов максимальных срочных годовых уровней воды рек Северного Кавказа при сравнении периодов 1961–1990 и 1991–2017 гг., % [Мироненко, Рец, Фролова, 2022]

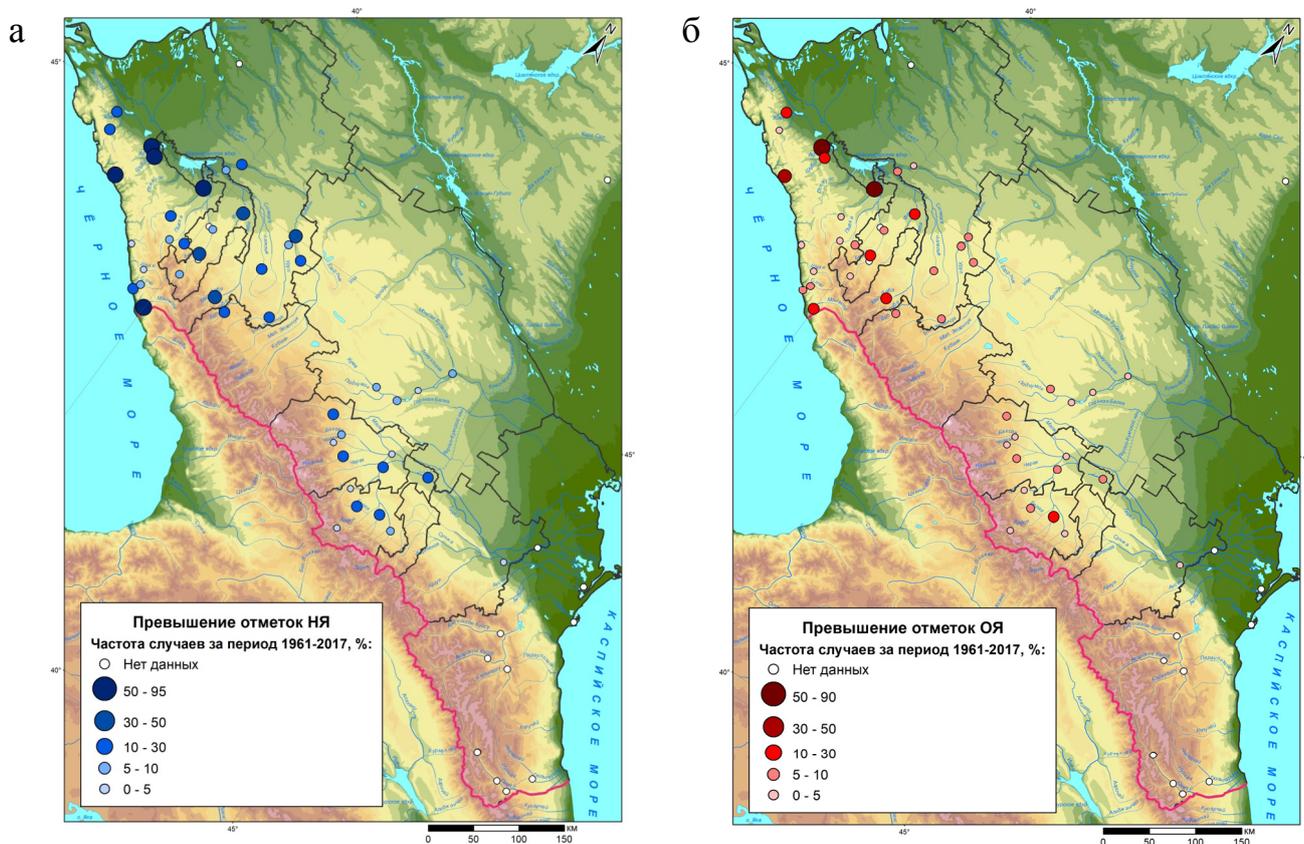


Рисунок 2 – Повторяемость превышения отметок НЯ (а) и отметок ОЯ (б) максимальными срочными годовыми уровнями воды рек Северного Кавказа России за период 1961–2017 гг., % [Мироненко, Рец, Фролова, 2022]

Построение зависимостей вида $Q_{max} = f(H_{max})$ для первого и второго периодов показало наличие заметных вертикальных русловых деформаций на девяти гидрологических постах из 40. На реках бассейна Терека (р. Терек – г. Владикавказ, р. Малка – с. Каменноостское, р. Баксан – с. Заюково) наблюдается намыв русла. Аналогичная тенденция характерна для бассейна Кубани и некоторых рек Черноморского побережья (р. Куапсе – с. Мамедова Щель, р. Кубань – ст. Ладожская, р. Уруп – ст. Удобная), за исключением р. Курджипис в створе ст. Нижегородская, где отмечен размыв русла. На двух постах в бассейне Кумы обнаружены разнонаправленные вертикальные деформации: на р. Кума в створе ст. Александрийская наблюдается намыв русла, для р. Самур в створе с. Лучек характерен размыв русла.

Анализ изменчивости дат прохождения максимальных уровней воды показал более поздние даты их наступления от первого ко второму периоду в верхнем и среднем течении р. Кубань, на реках юга Черноморского побережья Кавказа. Для остальных рек в целом характерна тенденция к более ранним датам прохождения максимальных уровней воды.

Полученные результаты, свидетельствующие о высокой степени современной опасности наводнений на реках Северного Кавказа, подтверждаются и при рассмотрении картографических обобщений, посвященных различным аспектам опасности наводнений.

В пределах Северного Кавказа различные авторы выделяют от трех до пяти классов опасности, при этом пространственное распределение опасных, очень опасных и чрезвычайно опасных районов в их исследованиях различается [Мироненко, Рец, Фролова, 2018].

Так, в [Атлас природных..., 2008] границы территории с чрезвычайной опасностью наводнений практически совпадают с границами бассейна р. Кубань, очень опасные участки свойственны бассейну р. Терек, а опасные участки тянутся узкой полосой на Черноморском побережье Краснодарского края (рисунок 3). К умеренно опасным участкам в [Атлас природных..., 2008] относятся участки водосборов рек Аварское и Андийское Койсу и образованной их слиянием р. Сулак, верховья рек Терек и Кума. Малоопасными являются остальные территории Северного Кавказа. В то же время в [Гладкевич и др., 2012] высший из трёх классов опасности наводнений – «чрезвычайно высокая опасность» – выделен на территории республик

Кабардино-Балкария и Северная Осетия – Алания (рисунок 3). Очень высокой степенью опасности наводнений обладают территории Адыгеи, Краснодарского и Ставропольского краёв, высокая степень опасности наводнений характерна для Карачаево-Черкессии и восточных республик СКФО – Ингушетии, Чечни и Дагестана. Интересен тот факт, что районы, характеризующиеся в исследовании [Гладкевич и др., 2012] как очень опасные и чрезвычайно опасные, в [Атлас природных..., 2008] отмечены как малоопасные и умеренно опасные [Мироненко, Рец, Фролова, 2018].

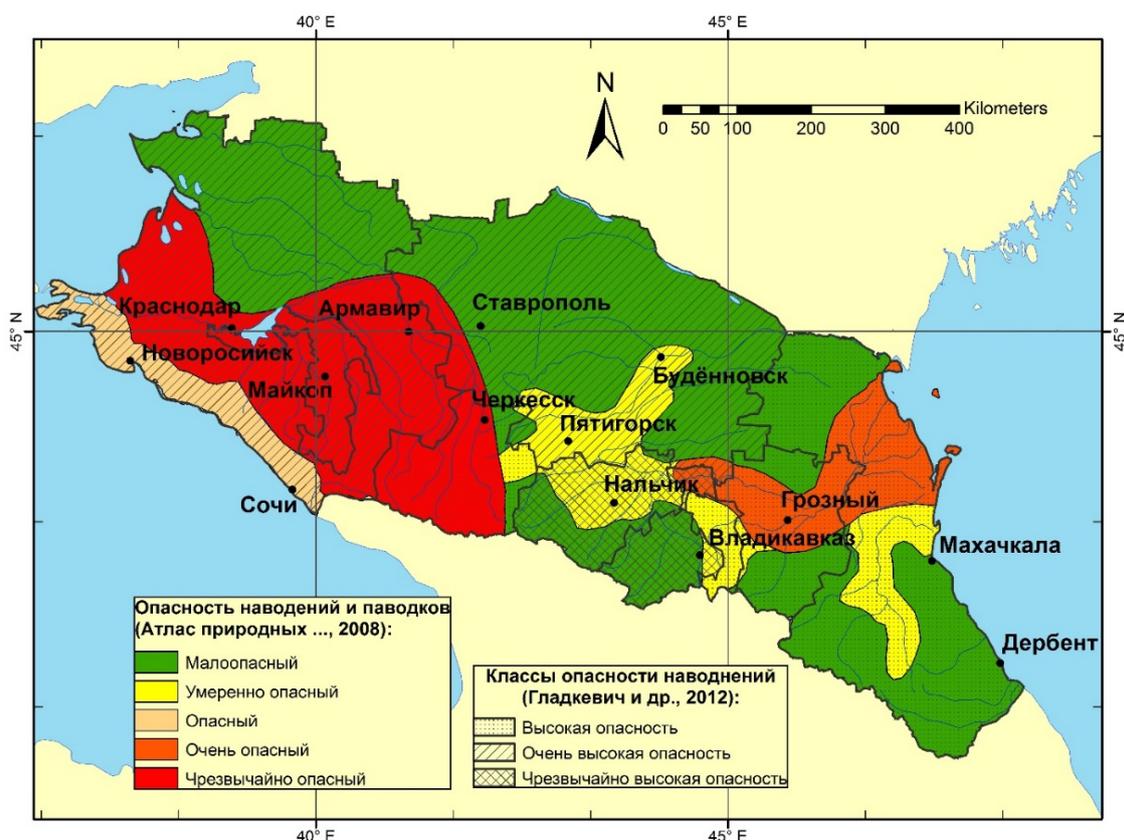


Рисунок 3 – Сопоставление результатов двух подходов к картографированию опасности наводнений на примере Северного Кавказа [Мироненко, Рец, Фролова, 2018]

Второе защищаемое положение. Разработанная классификация внутригодового распределения сроков прохождения максимальных уровней воды является основой районирования участков рек Северного Кавказа по характеру изменчивости этих сроков.

Для выражения максимальных уровней воды в рамках классификации предложен индекс h_{max} . Обозначение сезонов, в которые наблюдались максимумы уровней воды, принято согласно классификации рек

М. И. Львовича, где P – весна, E – лето, A – осень, H – зима [Львович, 1938, 1945]. Таким образом, получено 4 группы рек по сезонам и 12 теоретически возможных вариантов распределения (типов) максимальных уровней воды по сезонам, выраженных индексами, представляющих комбинации h_{max} с P , E , A и H соответственно. Так, если более чем в 80% случаев за рассматриваемый период максимальные уровни воды наблюдались в один из сезонов, их распределение охарактеризовано как почти исключительное в данный сезон и обозначено как P , E , A и H . Если максимальные уровни воды наблюдались в 50–80% за один из сезонов, распределение обозначено как преимущественное в данный сезон – Ph_{max} , Eh_{max} , Ah_{max} и Hh_{max} . В случае повторяемости максимальных уровней воды менее 50% за один из сезонов, распределение сроков их прохождения охарактеризовано как преобладающее в данный сезон – ph_{max} , eh_{max} , ah_{max} и hh_{max} . Всего на территории Северного Кавказа встречается 7 типов сезонного распределения максимальных уровней воды из 12 (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация сезонного распределения сроков прохождения максимальных уровней воды рек Северного Кавказа

Сезон	Распределение максимальных срочных годовых уровней воды по сезонам		
	почти исключительное	преимущественное	преобладающее
Весна	P –	Ph_{max} –	ph_{max} Мзымта (область <i>IIa</i>); Фарс, Белая (бассейн Кубани) (область <i>IIb</i>); Кума*
Лето	E Андийское Койсу, Аварское Койсу, Казикумухское койсу, Самур, Терек, Цея, Урух, Малка, Баксан, Чегем (область <i>IV</i>); Кубань**	Eh_{max} Кума, Золка, Сулак, Кара-Самур, Курах, Кубань, Уруп, Большая Лаба, Чамлык, Терек, Фиагдон, Урсдон, Нальчик (область <i>III</i>)	eh_{max} Курджипис, Лаба, Малая Лаба (область <i>IIb</i>)
Осень	A –	Ah_{max} –	ah_{max} Белая (бассейн Кубани), Шахе, Сочи (область <i>IIa</i>)
Зима	H –	Hh_{max} Вулан, Пшиш, Афипс, Убин, Адегой, Адагум (область <i>I</i>)	hh_{max} Куапсе, Пшеха (область <i>IIa</i>)

* Участок р. Кума в створе ст. Александрийская не отнесен ни к одной из областей.

** Участок р. Кубань в створе ст. Ладожская не отнесен ни к одной из областей.

Самой многочисленной является группа рек с летними максимумами уровней воды, к наиболее распространенным относятся типы рек с почти исключительно летними максимумами (E ; более 80% случаев за период) и преимущественно летними максимумами (Eh_{max} ; 50–80%).

Анализ сезонного распределения максимальных уровней воды позволил осуществить районирование участков рек Северного Кавказа по географическому признаку с выделением четырех характерных областей на основании предложенной классификации (рисунок 4).

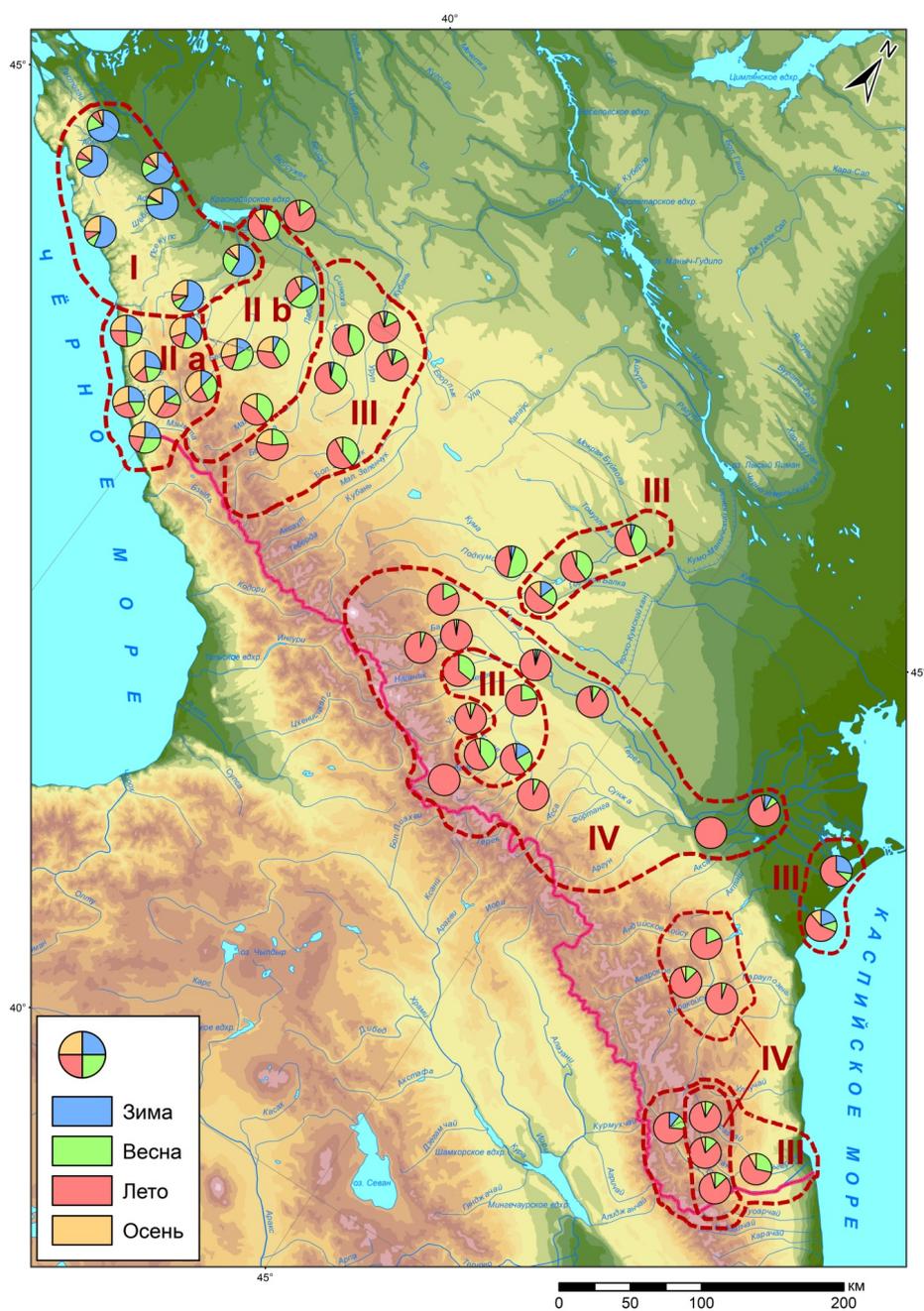


Рисунок 4 – Распределение дат прохождения максимальных срочных годовых уровней воды на реках Северного Кавказа за период 1961–2017 гг. по сезонам, % [Миرونенко, 2023]

Для рек Северного Кавказа установлены следующие закономерности в сезонном распределении максимальных уровней воды, наблюдаемых за период 1961–2017 гг.:

1. Характерные для северо-восточной части Черноморского побережья Кавказа преимущественно зимние максимальные уровни воды к югу побережья сменяются пестрой картиной сезонного распределения с преобладанием в его структуре осенних максимумов (от области I к области II_a).

2. При удалении от Черного моря к западу, вглубь материковой части, смешанное распределение сроков прохождения максимумов уровней воды сменяется сначала преобладанием весенних максимумов (от области II_a к области II_b), а затем переходит в область с преобладанием летних максимумов в структуре сезонного распределения (от области II_b к области III) (бассейн Кубани). Доля зимних максимумов, напротив, заметно сокращается (от области II_a к области III).

3. При движении с северо-запада на юго-восток Северного Кавказа доля зимних максимумов заметно уменьшается, в то же время в структуре сезонного распределения наблюдаются преимущественно летние или почти исключительно летние максимумы уровней воды (от области I к областям III и IV) (бассейн Самура).

4. Выявлена пространственная неоднородность сезонного распределения максимальных уровней воды в пределах бассейнов крупных рек Северного Кавказа. Различная степень вклада летних максимумов свойственна отдельным участкам рек Кубань, Лаба, Терек, Сулак и Самур (Eh_{max} и E). К рекам с максимумами уровней воды в пределах нескольких сезонов относятся приток р. Кубани, р. Белая (ah_{max} и ph_{max}), и р. Кума (Eh_{max} и ph_{max}).

Третье защищаемое положение. Предложенная методика построения поверхности потенциального затопления рек, основанная на использовании цифровой модели рельефа и данных о максимальных уровнях воды, позволяет произвести предварительную оценку местоположения границы затопления.

Методика построения поверхности затопления участков рек, основанная на применении инструментов геопространственного анализа, представляет собой следующий алгоритм действий:

Шаг 1. Подготовка базы гидрологических данных для построения поверхности затопления, а именно – сбор сведений о максимальных уровнях воды H_{max} в створах гидрологических постов за интересующий период наблюдений, их географических координатах (X, Y) и нулях графиков постов H_0 .

Шаг 2. Подготовка цифровой модели рельефа (ЦМР). Создание точечного векторного слоя гидрологических постов с необходимыми сведениями в атрибутивной таблице.

Шаг 3. Соединение точек в створе гидрологических постов по обе стороны русла на высоте нуля графика поста с помощью ЦМР перпендикулярно руслу в режиме ручной правки в точечном векторном слое (рисунок 5).

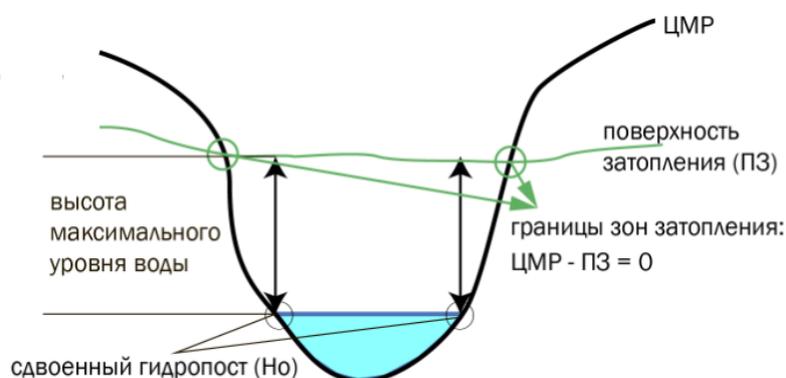


Рисунок 5 – Схема, объясняющая принцип построения поверхности потенциального затопления на участках рек [Mironenko et al., 2023]

Шаг 4. Создание дополнительного поля в атрибутивной таблице точечного векторного слоя и вычисление абсолютной высоты.

Шаг 5. Определение высоты поверхности затопления (ПЗ) $H_{ПЗ}$ в створе гидрологических постов при прохождении максимальных уровней воды:

$$H_{ПЗ} = H_0 + H_{max},$$

где $H_{ПЗ}$ – высота ПЗ в створе гидрологического поста, м; H_0 – нуль графика гидрологического поста, м; H_{max} – максимальный уровень воды в створе гидрологического поста, м.

Шаг 6. Интерполяция полученных значений $H_{ПЗ}$ на всю территорию исследуемого региона и создание поверхности затопления.

Шаг 7. Вычисление разности ЦМР и поверхности затопления для определения границы затопления на участках рек. *Замечание:* данный шаг

позволяет определить границу затопления не только на изученных створах, но и на реках, не охваченных гидрологическими наблюдениями. Однако результаты построения поверхности затопления для неизученных рек не всегда адекватны и требуют верификации с привлечением дополнительных сведений, в связи с чем они исключены из итоговых результатов.

Шаг 8. Выделение пикселей, по разности близких к нулю, для определения точной границы поверхности затопления.

Шаг 9. Конвертация поверхности затопления в векторный формат.

Шаг 10. Упрощение (сглаживание) границ полученной поверхности затопления (рисунок 6).

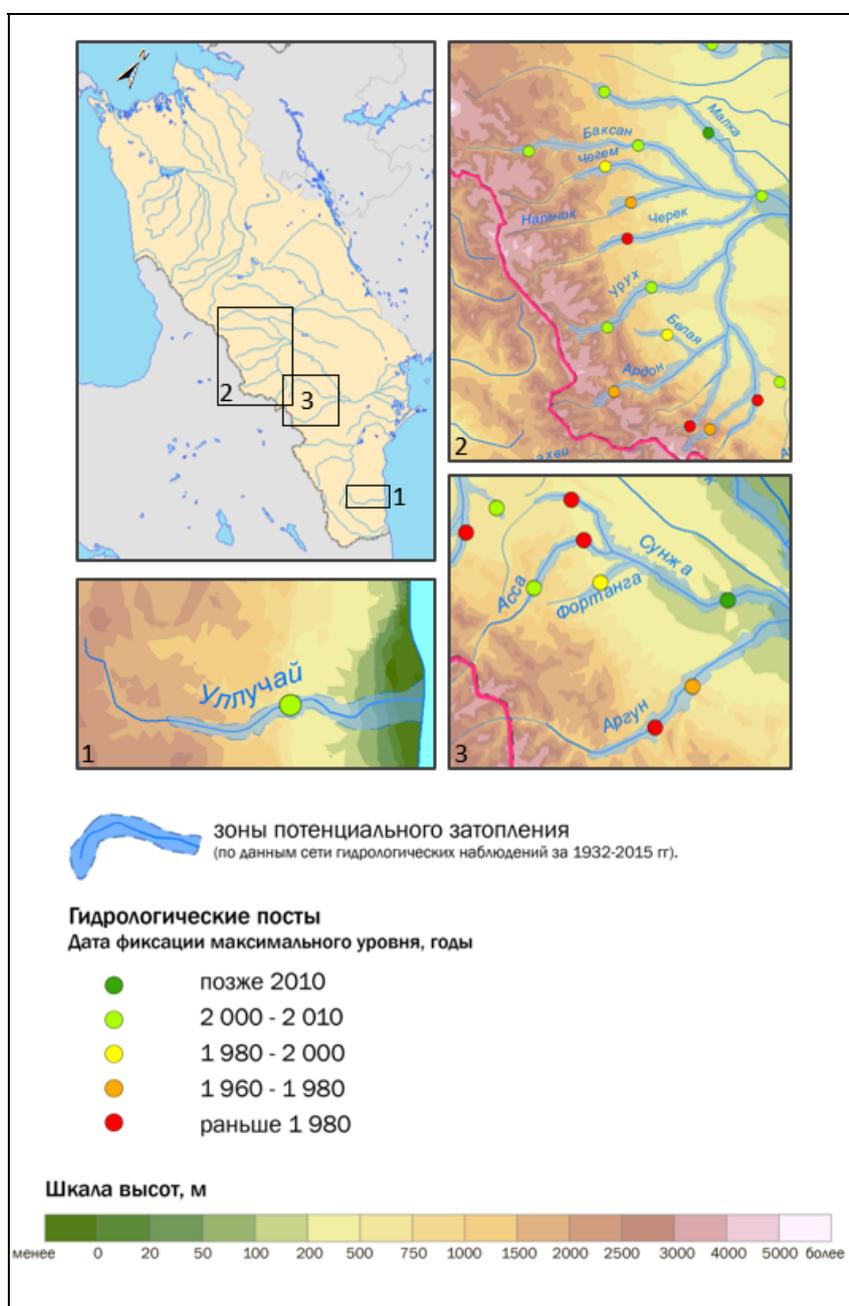


Рисунок 6 – Поверхность затопления, построенная по данным об исторических максимумах уровней воды за период 1932–2015 гг., для участков рек: 1 – бассейна р. Терек, 2 – р. Уллучай, 3 – бассейна р. Сунжа [Mironenko et al., 2023]

Поскольку в проведенном исследовании сделан акцент на применении границы затопления как инструмента при определении доли подверженных потенциальному затоплению объектов инфраструктуры и населения и последующем расчете ущерба от наводнений, применение предложенной методики построения поверхности потенциального затопления с использованием в качестве картографической основы ЦМР SRTM [Описание..., 2014; СТО ГГИ 52.08.48–2020] на данном этапе является допустимым с важной оговоркой дальнейшей верификации полученной границы затопления посредством привлечения дополнительных источников данных. Более того, предложенная методика в дальнейшем может быть использована с привлечением новых, более точных ЦМР.

***Четвертое защищаемое положение.** Разработанный методический инструментарий оценки ущерба от наводнений на реках раскрывает возможности применения действующей в РФ нормативно-законодательной базы оценки ущербов и позволяет определить размер ущерба в денежном эквиваленте.*

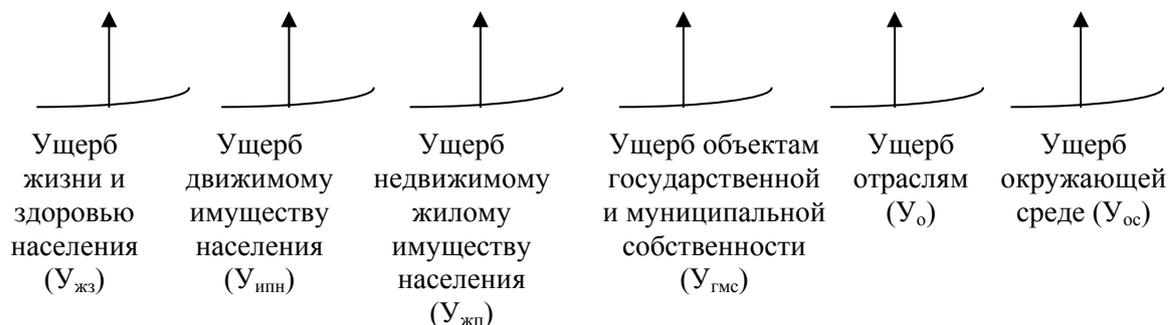
Исследование показало наличие утвержденных на межведомственном и ведомственном уровнях методик, применяемых для оценки ущерба. Методика МЧС России [Об утверждении Методики..., 2020] описывает общий подход к оценке ущерба от ЧС и не предлагает конкретного методического инструментария для выполнения расчетов. Единая межведомственная методика [Единая межведомственная методика..., 2004], напротив, очень подробна и охватывает большое количество показателей и сфер деятельности, ориентирована на оценку прямого и косвенного ущерба, предлагает рамочную методику укрупненной оценки и подход к прогнозированию экономического ущерба от ЧС. Вместе с тем для решения задачи оценки ущерба от наводнений данная методика излишне детализирована.

С учетом вышеизложенного разработан методический инструментарий для оценки ущерба от наводнений на реках, базирующийся на положениях изученных законодательных методик. При этом все представленные в них ограничения и допущения в полной мере применимы к предлагаемой методике.

Для расчета суммы ущерба от наводнений на реках предложено использовать аддитивную (многофакторную) модель, каждая из составляющих

которой рассчитывается с применением соответствующих виду ущерба показателей:

$$Y = \sum_{i=1}^a k_i \cdot x_i + \sum_{j=1}^b k_j \cdot x_j + \sum_{k=1}^c k_k \cdot x_k + \sum_{l=1}^d k_l \cdot x_l + \sum_{m=1}^e k_m \cdot x_m + \sum_{n=1}^h k_n \cdot x_n,$$



где x_i, \dots, n – совокупность показателей оценки составляющей ущерба; k_i, \dots, n – числовое выражение нормативных или усредненных или расчетных коэффициентов.

Представленный методический инструментарий апробирован для микрорайона Совхоз Приморский города-курорта Сочи Краснодарского края (рисунок 7).

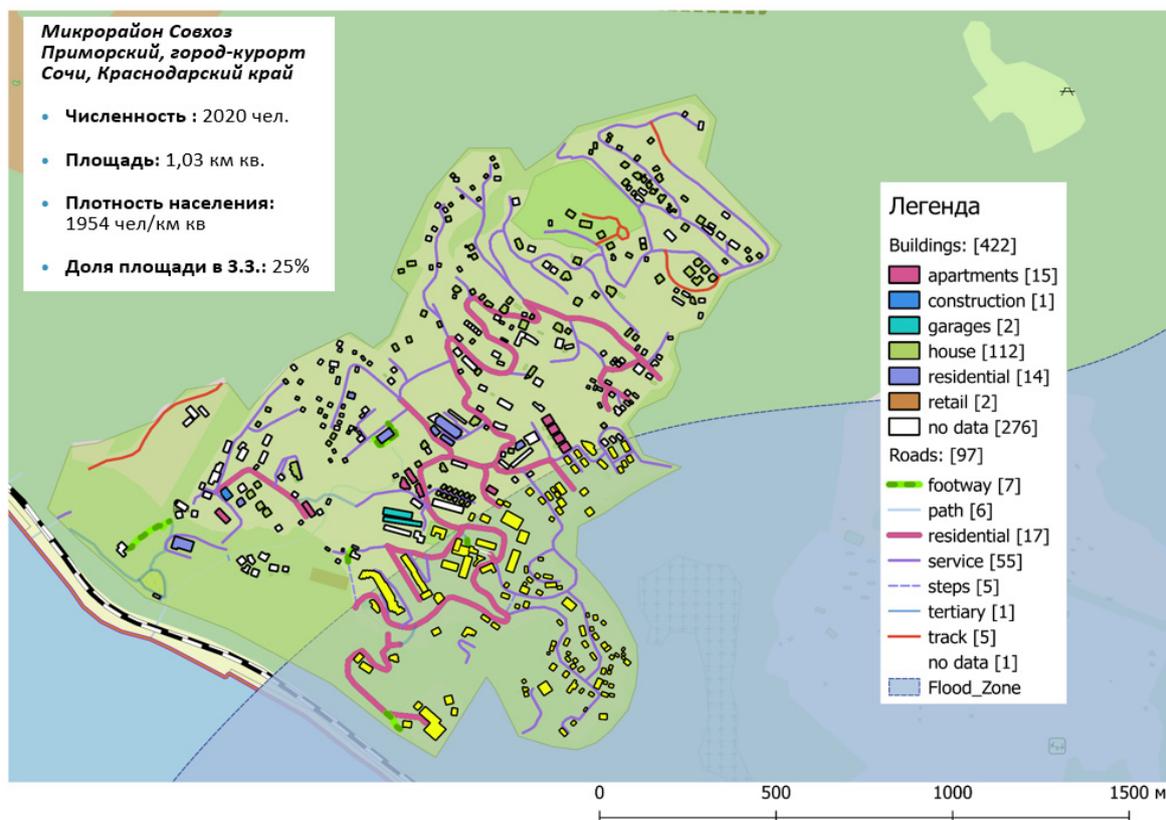


Рисунок 7 – Территория микрорайона Совхоз Приморский города-курорта Сочи Краснодарского края, попадающая в зону потенциального затопления р. Хоста

Установлено, что наибольший ущерб может быть причинен наводнением объектам государственной и муниципальной собственности ($Y_{гмс}$). Стоимость проведения неотложных аварийно-восстановительных работ на таких объектах оценивается в 137,5 млн руб.

Суммарная величина ущерба жизни и здоровью населения и движимому имуществу населения ($Y_{жз} + Y_{ипн}$), включающая финансовую помощь в связи с частичной и полной утратой имущества первой необходимости, выплаты единовременного пособия гражданам, получившим легкий, тяжкий или средней тяжести вред здоровью, а также выплаты единовременного пособия членам семей погибших граждан, включая расходы на погребение, составит порядка 128,8 млн руб.

Ущерб по отраслям (Y_o), пострадавшим от наводнения, представленный для объекта апробации только ущербом транспортной инфраструктуре, оценен в 65,5 млн руб.

На реализацию мер социальной поддержки граждан, жилые помещения которых утрачены и (или) повреждены в результате чрезвычайной ситуации ($Y_{жп}$), потребуется 64,4 млн руб.

Ущерб окружающей среде (Y_{oc}) не оценивался, что допускается Методикой МЧС [Об утверждении Методики..., 2020].

Таким образом, рассчитанное для 2021 г. суммарное значение ущерба от наводнения на р. Хоста, составившее 396,2 млн руб., укладывается в диапазон фактических значений материального ущерба на одно опасное гидрологическое явление в России в 2016–2021 гг. (от 24 до 463 млн руб.) даже с учетом принятых допущений, что подтверждает его реалистичность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На гидрологических постах, где критерием Стьюдента зафиксировано статистически значимое нарушение однородности рядов максимальных срочных годовых уровней воды, повсеместно наблюдается их рост от 1961–1990 к 1991–2017 гг., что подкрепляется результатами метеорологических исследований о росте величины экстремальных осадков. Критерий Фишера не позволяет сделать однозначный вывод о характере изменчивости дисперсии рядов максимальных уровней воды.

2. Средняя повторяемость превышений уровней НЯ и ОЯ максимальными годовыми срочными уровнями воды на постах за период 1961–2017 гг. составляет порядка 20 и 15% соответственно при наибольшей повторяемости в бассейне Кубани, достигающей 90% за рассматриваемый период. Результаты оценки частоты превышений отметок НЯ и ОЯ свидетельствуют о необходимости усиления противопаводковых мер как в бассейне Кубани, так и на реках всего Северного Кавказа.

3. Построение зависимостей вида $Q_{max} = f(H_{max})$ для 1961–1990 и 1991–2017 гг. показало наличие заметных вертикальных русловых деформаций на 9 гидрологических постах из 38, что свидетельствует о существенном вкладе русловых деформаций в формирование максимальных уровней воды на некоторых реках Северного Кавказа.

4. Проведен анализ дат прохождения максимальных уровней воды на реках Северного Кавказа за период 1961–2017 гг. Предложена классификация рек Северного Кавказа, выполненная по подобию классификации рек М.И. Львовича. Из 12 теоретически возможных типов сезонного распределения сроков прохождения годовых максимумов уровней воды подробно описаны 7 основных типов, встречающихся на реках Северного Кавказа. Самой многочисленной является группа рек с летними максимумами уровней воды, к наиболее распространенным относятся типы рек с почти исключительно летними максимумами и преимущественно летними максимумами. Предложено районирование участков рек Северного Кавказа по характеру изменчивости сроков прохождения максимальных уровней воды. Географическая обоснованность предлагаемого районирования подтверждается его достаточно хорошим соответствием существующим представлениям об особенностях питания исследуемых рек и их водном режиме. Полученные результаты могут быть использованы в целях уточнения вероятности прохождения опасных паводков на реках Северного Кавказа в различные сезоны года.

5. Выявлено многообразие подходов к оценке опасности наводнений и их визуализации на географических картах, обусловленное широким спектром решаемых задач и предопределяющее значимые различия в результатах таких оценок и их картографировании для одних и тех же территорий. Детальному анализу подвергнуты картографические изображения, посвященные опасности,

рisku и повторяемости наводнений, а также подверженности территории Северного Кавказа данному опасному гидрологическому явлению и уязвимости к нему. Их анализ позволил определить опасные с точки зрения наводнений участки Северного Кавказа при расчете с помощью различных показателей и сопоставить их границы. Установлено, что, несмотря на примерно одинаковое число выделяемых классов опасности наводнений в пределах Северного Кавказа – от трех до пяти, пространственное распределение опасных, очень опасных и чрезвычайно опасных районов у различных авторов варьируется.

6. Предложена и апробирована методика построения поверхности потенциального затопления для рек Северного Кавказа России по данным об исторических максимумах уровней воды, зафиксированных на гидрологических постах за период 1936–2015 гг., на основе которой возможно произвести предварительную оценку местоположения границы затопления и получить представление о количестве объектов, попадающих в зону затопления.

7. Разработан универсальный методический инструментарий оценки ущербов от наводнений с учетом подходов, используемых в практике оперативных служб и регламентированных нормативно-правовыми документами. Выполнена апробация представленного подхода для микрорайона Совхоз Приморский города-курорта Сочи Краснодарского края. Доказана его реалистичность путем сравнения оценочного значения ущерба с диапазоном фактических значений материального ущерба на одно опасное гидрологическое явление в РФ.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, определенных в п.2.3 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова:

1. **Мироненко А.А.,** Рец Е.П., Фролова Н.Л. Оценка и картографирование опасности наводнений на Северном Кавказе: обзор и сопоставление существующих подходов // Геориск. 2018. Т. 12. № 2. С. 26–36. ИФ РИНЦ = 0.433, доля участия 1/3.

2. **Мироненко А.А.,** Рец Е.П., Фролова Н.Л. Современная динамика показателей опасности наводнений на реках Северного Кавказа России //

Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 2. С. 225–237. *Переводная версия*: **Mironenko A.A.**, Rets E.P., Frolova N.L. Present-day dynamics of flood hazard characteristics in rivers in the North Caucasus, Russia // Water Resources. 2022. V. 49. № 2. P. 271–282. JIF = 1.000, доля участия 1/3.

3. **Mironenko A.**, Gizatullin A., Rets E., Frolova N. Methodology for surface water flood modelling based on analysis of digital elevation model and hydrological data // E3S Web of Conferences. 2023. V. 413. P. 1–6. SJR = 0.182, доля участия 1/4.

4. **Мироненко А.А.** Изменчивость сроков прохождения максимальных уровней воды на реках Северного Кавказа // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2023. № 3 (389). С. 93–111. ИФ РИНЦ = 0.734.

Иные публикации: 9 работ в других рецензируемых журналах, сборниках тезисов и материалов российских и международных конференций. Их полный список доступен на странице соискателя в ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/profile/AnastasiaMironenko/>