

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

Научная статья

УДК 556.044, 528.91

doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-178-189

**РАЗРАБОТКА КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ
ОБ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. КАМЫ)**Татьяна Владимировна Судницына¹, Андрей Николаевич Шихов²^{1, 2} Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия² Институт наук о Земле СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия¹ tanek51@mail.ru² shikhovan@gmail.com

Аннотация. Базы данных об опасных гидрологических явлениях (ОГЯ) представляют собой информационную основу для их картографирования и оценки рисков, а также важны при оценке достоверности моделирования и прогнозов. Для территории России имеющаяся в открытом доступе информация о случаях ОГЯ является неполной и неструктурированной должным образом, а также не всегда имеет пространственную привязку, что затрудняет ее использование. В настоящей работе рассматривается создание базы данных ОГЯ в бассейне р. Камы за период с 1990 г. по н.в. Информационной основой для ее создания послужили многолетние наблюдения сети гидропостов Росгидромета, ранее опубликованные базы данных о случаях ОГЯ, публикации в средствах массовой информации, в социальных сетях и в специализированных информационных ресурсах. Структура базы данных включает три иерархических уровня: сообщения о явлении и/или нанесенном ущербе, имеющие привязку к населенному пункту или гидропосту, информацию о явлении в целом по речному бассейну, а также характеристики экстремальных осадков (для случаев дождевых паводков). Всего база данных включает 282 случая ОГЯ, из которых в 223 случаях был зафиксирован материальный ущерб. Большинство случаев ОГЯ (79 %) связаны с весенним половодьем, на дождевые, снегодождевые и ливневые паводки приходится 17 %, а остальные 4 % – ледовые заторы и наледи. Разработанная база данных послужит основой для создания серии карт опасности и риска наводнений в бассейне р. Камы.

Ключевые слова: картографическая база данных, опасное гидрологическое явление, весеннее половодье, дождевой паводок, материальный ущерб, бассейн р. Камы

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Санкт-Петербургского государственного университета в рамках проекта «Разработка методики оперативного прогноза опасных гидрометеорологических явлений в условиях Дальневосточного федерального округа (на примере Магаданской области)» (ID PURE 116160863)

Для цитирования: Судницына Т.В., Шихов А.Н. Разработка картографической базы данных об опасных гидрологических явлениях (на примере бассейна р. Камы) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 3 (70). С. 178–189. doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-178-189

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-178-189

**DEVELOPING A GIS DATABASE OF HAZARDOUS HYDROLOGICAL EVENTS
(WITH THE KAMA RIVER BASIN AS AN EXAMPLE)**Tatiana V. Sudnitsyna¹, Andrey N. Shikhov²^{1, 2} Perm State University, Perm, Russia² Earth Sciences Institute, St. Petersburg State University¹ tanek51@mail.ru² shikhovan@gmail.com

Abstract. Databases of hazardous hydrological events (HHE) provide an information basis for their mapping and risk assessment, and are also important for assessing the reliability of modeling and forecasts. For the territory of Russia, the publicly available information on HHE is incomplete and unstructured. This paper deals with the creation of a database of HHE in the Kama River basin for the period from 1990 to the present. The compiled dataset is based on long-term observations at a network of gauging stations, on previously published databases of flood events, publications in the media, social networks, and specialized information resources. The structure of the database includes three hierarchical levels: reports on a flood event and/or related damage with geolocation at settlements or gauging stations, information on a flood event for the entire river basin, and characteristics of extreme precipitation (only for rain-induced floods). In total, the database includes 282 reports, of which 223 cases induced economic losses. The majority of cases



*Картография и геоинформатика**Судницына Т.В., Шихов А.Н.*

(79%) are associated with spring floods; rain, rain-on-snow, and flash floods accounted for 17% of cases; the other 4% are related to ice jams and icings. The developed database will serve as a basis for risk mapping in the Kama River basin.

Keywords: GIS database, hazardous hydrological event, spring flood, rain flood, Kama River basin

Funding. This work was supported by St. Petersburg State University within the project 'Development of methodology for operational forecasting of hazardous hydrological events in the Far Eastern Federal District (using the Magadan Region as an example)'.

For citation: Sudnitsyna, T.V., Shikhov, A.N. (2024). Developing a GIS database of hazardous hydrological events (with the Kama River basin as an example). *Geographical Bulletin*. No. 3(70). Pp. 178–189. doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-178-189

Введение

Опасные гидрологические явления (ОГЯ) представляют собой одну из основных причин возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера в России. В настоящее время под ОГЯ понимается событие гидрологического происхождения или результат гидрологических процессов, возникающие под действием различных природных, гидродинамических факторов или их сочетаний, оказывающих поражающее воздействие на людей, сельскохозяйственных животных и растения, объекты экономики и окружающую природную среду [7]. На территории России возможны такие виды ОГЯ, как высокое половодье, особые ледовые явления, наледные явления, высокий паводок, очень большие и малые расходы воды, низкая межень, раннее ледообразование, сели и лавины [11]. Для каждого отдельного гидропоста УГМС (ЦГМС) устанавливаются критерии НГЯ и ОГЯ. Основными критериями являются повторяемость не чаще 1 раза в 10 лет для ледовых явлений, для большого расхода воды – обеспеченность не более 10 %, для малого расхода воды – обеспеченность не более 90 % [11].

За последние десятилетия в разных странах мира созданы и опубликованы многочисленные базы данных (БД) в табличной и картографической форме, предназначенные для сбора, хранения и анализа информации о наводнениях и других ОГЯ, их картографирования, оценки рисков и ущербов. Выделяются БД глобального, национального, или межгосударственного, и регионального уровней. Наиболее известной глобальной БД об ущербе от стихийных бедствий, включая случаи наводнений, является EM-DAT [20]. Также к глобальным базам данных о наводнениях относятся NatCatSERVICE [19], включающая более 10 тыс. событий, информация о которых собрана из социальных сетей, база данных Global Flood Database [27], собранная на основе спутниковых снимков за 2000–2018 гг., и база данных крупных наводнений Dartmouth Flood Observatory [15], которая включает сведения о более чем 5 тыс. случаев наводнений за период с 1985 г. по н.в. Из проектов национального и межгосударственного уровня можно выделить базу данных о наводнениях в США [23], включающую свыше 698 тыс. записей за период с 1900 по 2020 г., и базу данных HANZE [25], в которой представлена информация об ущербе от наводнений в Европе за период с 1870 по 2020 г.

Для территории России в целом и ее отдельных регионов в настоящее время не существует общедоступных и оперативно обновляемых баз данных о случаях ОГЯ и условиях их возникновения, которые могли бы использоваться как информационная основа для картографирования и оценки рисков. Основу системы наблюдений за уровнями и расходами воды составляют гидрологические посты Росгидромета. Однако далеко не все водотоки, включая те, на которых отмечаются серьезные наводнения, обеспечены такими наблюдениями. Сами данные наблюдений на постах в цифровом виде доступны лишь за период с 2001 г., что недостаточно для получения репрезентативной во времени оценки характеристик ОГЯ [5]. В открытом доступе отсутствует систематизированная информация об ущербе, связанном с ОГЯ по территории России (в том числе о случаях ОГЯ, не зафиксированных гидропостами), а также об условиях возникновения ОГЯ. В частности, это относится к случаям интенсивных паводкоформирующих осадков, информация о которых доступна лишь для отдельных случаев, нанесших наибольший ущерб.

Все перечисленные проблемы в той или иной степени характерны для большинства бассейнов крупных рек России, кроме бассейнов Амура и Кубани, для которых ранее были созданы системы прогнозирования наводнений, включающие в том числе и архивную информацию [2; 13]. В данной работе рассматривается создание базы данных об ОГЯ для бассейна р. Камы. Площадь бассейна составляет около 507 тыс. км². Большая часть его расположена в пределах Восточно-Европейской равнины, а восточная часть – в пределах Уральских гор. Наблюдения за уровнями воды и стоком ведут 124 гидропоста Росгидромета. Целью работы является создание базы данных об ОГЯ на основе структуры, предложенной в работе [24], которая позволяет включить в базу данных сведения о самих явлениях, о вызванном ими ущербе (с геопривязкой к каждому населенному пункту) и о метеорологических условиях их возникновения.

*Картография и геоинформатика**Судницына Т.В., Шихов А.Н.***Материалы и методы***Структура базы данных*

Целью создания БД ОГЯ для бассейна р. Камы была систематизация данных о самих явлениях, причинах их возникновения, нанесенном ущербе, а также создание информационной основы для картографирования и оценки рисков. Исходя из целей исследования, в качестве образца для создания БД была взята национальная база данных оползней и наводнений в Италии [24]. По аналогии с этой работой выделены три иерархических уровня данных о случаях ОГЯ (рис. 1). Первый уровень (Reports) представляет собой отчеты о случаях ОГЯ или нанесенном ущербе, которые могут быть привязаны к населенному пункту или гидропосту (например, если явление по данным поста наблюдалось, но ущерб не зафиксирован). На втором уровне (Events) эти точечные отчеты группируются в события на основе пространственного положения и времени возникновения. К одному событию относятся все отчеты, которые связаны с одним гидрологическим явлением (паводком, половодьем) в речном бассейне. Характеристика ущерба дана как на первом уровне (для каждого населенного пункта), так и на втором уровне (в целом для события). На третьем уровне (Drivers) представлена информация об экстремальных осадках, вызвавших дождевые и снегодождевые паводки, полученная по данным сети метеостанций и реанализа ERA5 [22]. Для явлений, не связанных с экстремальными осадками, эта информация не заполнялась.

База данных сформирована на основе следующих основных источников:

- ранее опубликованные БД, в том числе БД случаев опасных гидрометеорологических явлений, нанесших социально-экономические потери [14], и ранее созданная БД ОГЯ в бассейне р. Камы, которая включала всего 95 случаев [26]. Информация, полученная из этих БД, была адаптирована под разработанную структуру (рис. 1);
- ряды наблюдений гидропостов Росгидромета (всего использованы данные со 172 гидропостов за период с 2001 по 2023 г.). Данные получены с информационного ресурса [5].
- ежемесячные обзоры случаев опасных гидрометеорологических явлений, публикуемые в журнале «Метеорология и гидрология» [9];
- публикации на сайтах управлений МЧС РФ по субъектам РФ;
- публикации в СМИ и социальных сетях, характеризующие сами явления и нанесенный ими ущерб, в том числе фотографии и видеозаписи.

Данные сети метеостанций Росгидромета о паводкоформирующих осадках были получены с информационных ресурсов ВНИИГМИ-МЦД [12] для реперных метеостанций. Для прочих метеостанций данные получены из общедоступного архива [1]. Данные реанализа ERA5 были загружены с информационного ресурса Copernicus [18], где была выбрана переменная Total Precipitation с шагом по времени 1 ч и с шагом сетки 30 км.

По данным гидропостов были выбраны случаи, когда уровень воды превышал опасную отметку или отметку затопления для данного поста. Для всех этих случаев был проведен поиск информации об ущербе, опубликованной в вышеперечисленных информационных ресурсах. В зависимости от наличия ущерба для каждого случая ОГЯ был определен тип регистрации: для случаев без ущерба – превышение опасной отметки на гидропосте, для случаев с ущербом – по данным о нанесенном ущербе.

Поиск данных об ущербе в СМИ и социальных сетях проводился также для тех случаев, когда на гидропостах отмечался значительный подъем уровня воды, но он не достигал опасной отметки, либо данные об опасном уровне отсутствовали. Если для таких случаев обнаруживались сообщения об ущербе, а именно о затоплении домов и придомовых территорий, населенного пункта, эвакуации граждан, случаи заносились в БД согласно структуре (рис. 1). Если населенный пункт упоминался как пострадавший от наводнения, но количественные характеристики ущерба были неизвестны (без указания числа затопленных домов и т. д), такие случаи также были включены в БД, а способ регистрации ОГЯ был задан как «упоминание в СМИ».

Многие случаи ОГЯ, в том числе весьма разрушительные, произошли на неизученных водотоках, где отсутствуют гидропосты. Для таких случаев основным источником информации были сообщения в СМИ и специализированной литературе, фотографии и видеозаписи.

Геопривязка записей в базе данных выполнена по картографическому слою населенных пунктов, полученному по данным OpenStreetMap. Для каждой записи в таблице Reports приведен уникальный код населенного пункта (OSM ID), в котором было зафиксировано данное явление.

Картография и геоинформатика
Судницына Т.В., Шихов А.Н.

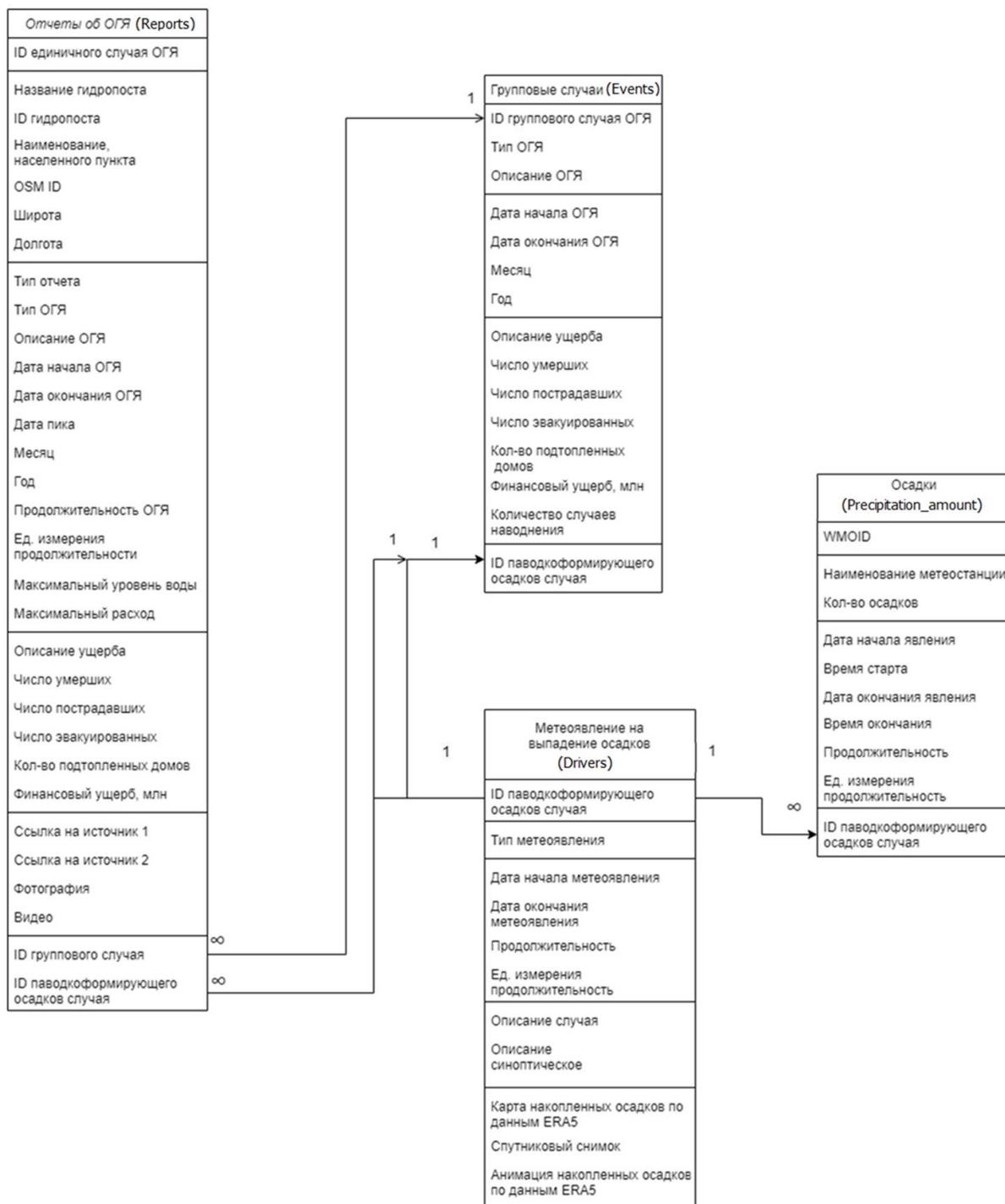


Рис. 1. Структура базы данных ОГЯ в бассейне р. Камы
Fig. 1. Structure of the database of hazardous hydrological events in the Kama River basin

В базе данных выделено 6 типов ОГЯ: весеннее половодье, ледовый затор, наледь и три типа паводков (дождевой, снегодождевой, ливневый). К ливневым паводкам отнесены случаи локальных быстроразвивающихся наводнений, наблюдавшихся в одном населенном пункте и не зафиксированные гидропостами, обусловленные локальными ливнями длительностью до нескольких часов (количество осадков более 30 мм/час, или 50 мм за 12 часов) [11]. Всего в базу данных включено 5 таких случаев. К снегодождевым паводкам отнесены случаи, связанные с сильными осадками, выпавшими на спаде половодья, которые сопровождалось интенсивным таянием снега в горах, или с обильными смешанными осадками и таянием временного снежного покрова осенью (всего 19 записей, которые

*Картография и геоинформатика**Судницына Т.В., Шихов А.Н.*

относятся к шести различным событиям). Для остальных наводнений дождевого генезиса был задан тип «дождевой паводок», т.к. в основном они были обусловлены обильными осадками большой продолжительности (1–5 сут), которые охватывали обширные территории.

Даты начала, окончания явления и максимального уровня воды были определены по данным гидропостов. Продолжительность явления была вычислена по длительности сохранения опасного уровня воды либо уровня выше отметки затопления (по данным гидропоста). Для случаев, не обеспеченных данными наблюдений гидропостов, была зафиксирована только дата максимума на основании сообщений в открытых источниках.

Сведения об ущербе от ОГЯ в БД даны в виде краткого текстового описания и количественных характеристик (число погибших, пострадавших, эвакуированных, число затопленных домов, экономический ущерб в млн. руб., в ценах соответствующего года). Доступность этих данных остается на низком уровне, особенно для случаев, наблюдавшихся до 2010 г. Отдельно стоит отметить низкое качество данных об экономическом ущербе – оценки, опубликованные в СМИ и в специализированных ресурсах, чаще всего имеют оперативный характер и могут быть занижены либо даны лишь для одной отрасли экономики.

При формировании таблицы второго уровня (Events) данные об ущербе суммировались для всех населенных пунктов, в которых наблюдалось данное явление. Продолжительность явления также была задана на основе самой ранней и поздней даты со всех пунктов наблюдений, где это явление было зафиксировано. Примечательно, что данные об ущербе от явления в целом (без привязки к конкретному населенному пункту) могут быть более полными и корректными, поскольку оценки экономического ущерба от ОГЯ публикуются обычно для региона в целом.

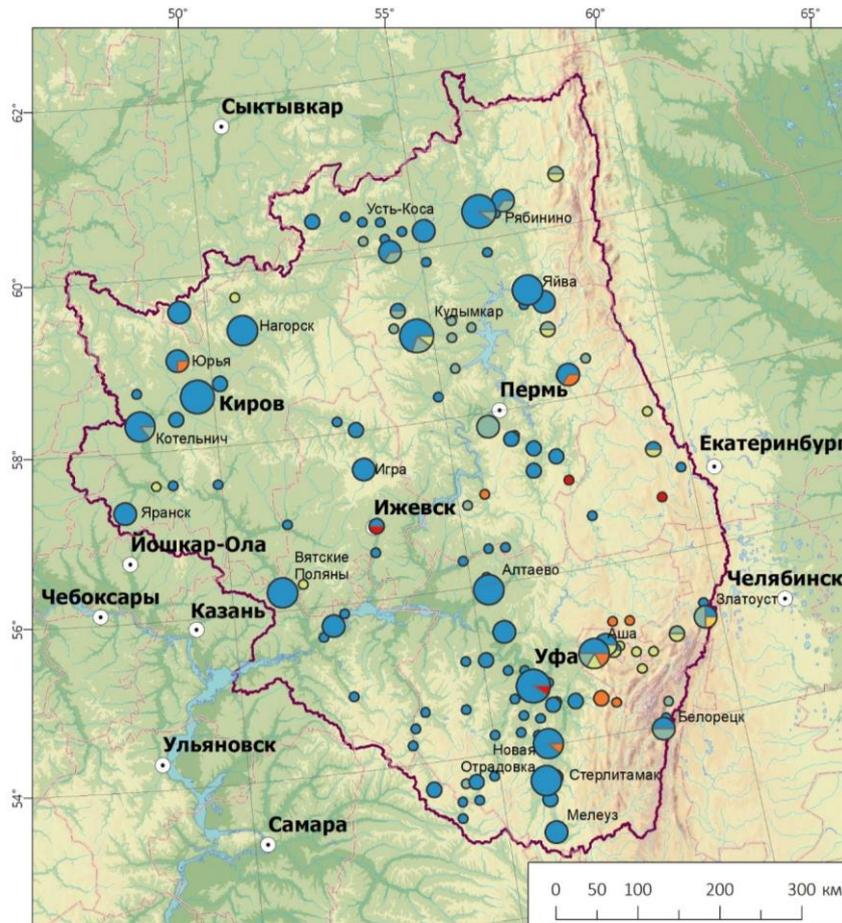
Характеристика паводкоформирующих осадков (Drivers) получена по данным сети метеостанций и реанализа ERA5. При этом учитывались данные наблюдений не только ближайшей к месту возникновения ОГЯ метеостанции, но и нескольких соседних, которые могут быть более репрезентативными. Для каждого случая был определен тип метеорологического явления, его продолжительность и количество накопленных осадков. По данным ERA5 смоделирована синоптическая ситуация и построены карты пространственного распределения накопленных осадков за тот же период, когда они фиксировались метеостанциями. Важно отметить, что реанализ успешно воспроизводит только осадки обложного или смешанного генезиса, охватывающие обширные территории, тогда как ливневые осадки воспроизводятся плохо. Однако оценка пространственного распределения осадков в любом случае представляет интерес по причине редкости сети метеостанций, особенно в горной части Урала.

Результаты и их обсуждение*Основные характеристики ОГЯ в бассейне р. Камы*

В настоящее время база данных включает 282 отчета об ОГЯ, которые относятся к 132 населенным пунктам (рис. 2) и к 65 рекам (рис. 3). Наибольшее число случаев отмечено на следующих реках: на Вятке (32), Белой (31), Вишере (15), Стерле (14) и Симе (11).

Большинство населенных пунктов, пострадавших от ОГЯ, расположены в предгорьях Урала (восточная часть Республики Башкортостан, западная часть Челябинской области, северная и восточная часть Пермского края), а также в поймах крупных рек (Вятки, Белой) на равнинной территории. Наибольшее число случаев ОГЯ зафиксировано в г. Кирове (14), г. Уфе (11), г. Кудымкаре и с. Рябино (10), п.г.т. Нагорске (8), г. Стерлитамаке и г. Котельнич (7). Перечисленные населенные пункты расположены в различных частях бассейна, но их объединяет положение в поймах крупных и средних рек с незарегулированным стоком (кроме г. Уфы), вследствие чего поймы регулярно подвергаются затоплению в период весеннего половодья. При этом доля случаев ОГЯ с зафиксированным ущербом для каждого населенного пункта разная: так, в с. Рябино ущерб отмечен только в одном из десяти случаев, а в г. Кудымкаре – во всех 11 случаях. Это обусловлено особенностями расположения жилой застройки и/или наличием защитных сооружений (дамб). Некоторые населенные пункты, которые в недавнем прошлом выделялись по величине ущерба от наводнений (например, г. Кунгур в Пермском крае), в данный список не попали. Это произошло вследствие снижения повторяемости наводнений в XXI в. в сравнении с предыдущими десятилетиями, а также улучшения инженерной защищенности населенных пунктов [10].

Картография и геоинформатика
Судницына Т.В., Шихов А.Н.



Условные обозначения

Распределение ОГЯ по происхождению



Частота ОГЯ



Шкала высот, м

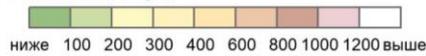


Рис. 2. Случаи ОГЯ на территории бассейна р. Камы

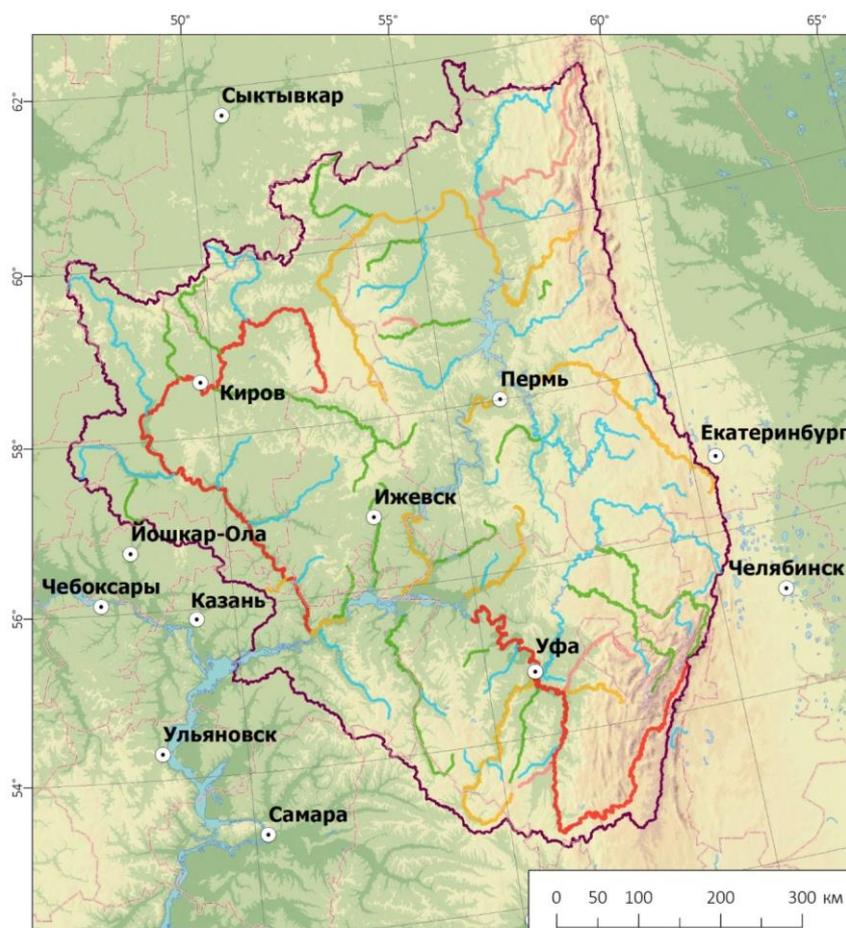
Fig. 2. Hazardous hydrological events reported in the Kama River basin

В базе данных выделено 4 типа регистрации ОГЯ (рис. 4). Более 54 % случаев зафиксированы по данным об ущербе, еще в 21 % случаев – упоминание в СМИ (т.е. количественной характеристики ущерба нет). В 24 % случаев было зафиксировано превышение опасной отметки или отметки затопления на гидропостях, но сведений об ущербе не было. Один случай внесен в базу данных на основе опубликованной видеозаписи.

Опубликованные сообщения об ущербе от наводнений были основным источником информации для наполнения БД. В связи с этим существует проблема недооценки числа случаев наводнений за период до повсеместного распространения сети Интернет, т.е. до 2010-х гг. Отмечается искусственный (инструментальный) рост числа случаев в последние десятилетия, что хорошо заметно на рис. 5. Аналогичная проблема характерна и для других баз данных об опасных природных явлениях, наполнение которых происходит на основе анализа публикаций в открытых источниках [16; 21].

Картография и геоинформатика

Судницына Т.В., Шихов А.Н.



Условные обозначения

Повторяемость (количество случаев) ОГЯ с 1990-2023 г.

- 1 - 2
- 3 - 4
- 5 - 9
- 10 - 15
- больше 16

- границы субъектов РФ
- центры субъектов РФ
- границы водосборного бассейна

Шкала высот, м

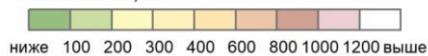


Рис. 3. Частота случаев ОГЯ на основных реках бассейна р. Камы
 Fig. 3. Hazardous hydrological events frequency on the main rivers of the Kama River basin

Из всех рассмотренных явлений большинство случаев ОГЯ (79 %) связаны с весенним половодьем, на дождевые, снегодождевые и ливневые паводки приходится 17 %, а остальные 4 % – на ледовые заторы и наледи. Проанализируем более детально случаи наводнений с выявленным ущербом за период с 1990–2023 гг. (152 случая). Из них на половодье приходится уже 69,1 % (т.е. существенно меньше, чем по всей базе данных), на дождевые и снегодождевые паводки – 13,2 и 9,2 % случаев соответственно, на ледовые заторы – 5,3 %, на ливневые паводки – 2,6 %, на наледи – 0,7 %. Преобладание случаев, вызванных половодьем, характерно для рек с восточноевропейским типом режима [3]. Опасные ледовые явления (заторы и наледи) в целом нетипичны для бассейна Камы, в сравнении с бассейнами рек Сибири, по причине меньшей толщины льда на реках. Дождевые паводки возникают периодически как на горных, так и на равнинных реках, причем на фоне изменения климата риски, связанные с ними, могут возрасти, так как потепление ведет к росту доли ливневых осадков [17].

Картография и геоинформатика
Судницына Т.В., Шихов А.Н.



Рис. 4. Типы регистрации ОГЯ
Fig. 4. Types of reports on hazardous hydrological events

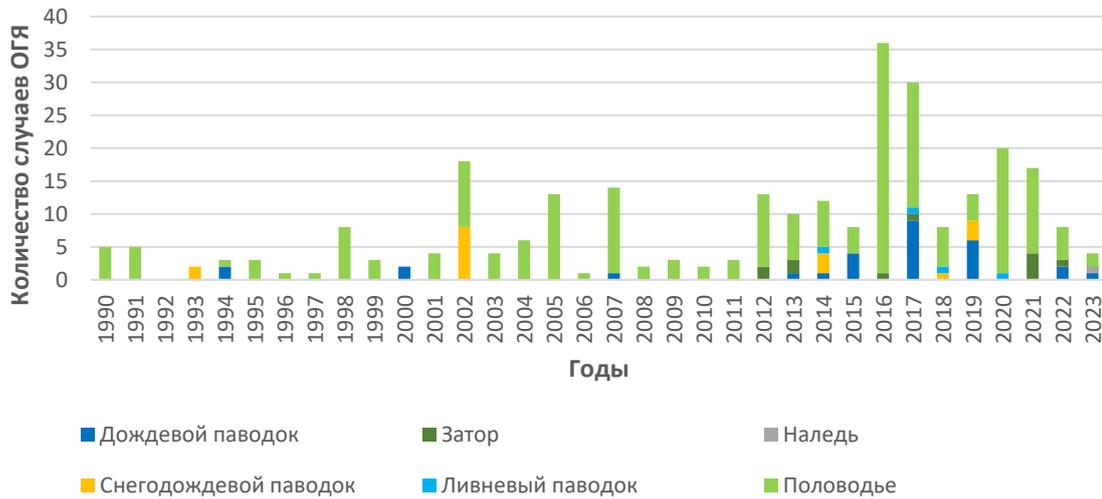


Рис. 5. Межгодовая изменчивость числа случаев ОГЯ с зафиксированным ущербом
Fig. 5. Interannual variability of hazardous hydrological events with recorded damage

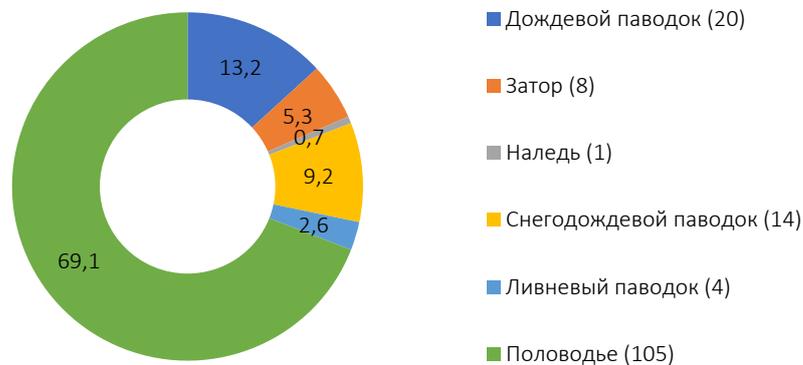


Рис. 6. Распределение случаев ОГЯ, нанесших ущерб, по типам
Fig. 6. Types of hazardous hydrological events that caused economic losses

Данные об ущербе от наводнений можно оценивать по 5 позициям: количество погибших, пострадавших и эвакуированных, затопленные дома и финансовый ущерб (в млн руб.). Рассмотрим каждую категорию более детально.

*Картография и геоинформатика**Судницына Т.В., Шихов А.Н.*

В базе данных имеется всего 3 события с подтвержденными случаями гибели людей и одно событие, когда были пропавшие без вести. События связаны с паводками различного генезиса (ливневый, снегодождевой и дождевой), а также с высоким весенним половодьем в Башкортостане в 1990 г. Наибольшее число жертв зарегистрировано в 1994 г. в пос. Тирлянский – 29 человек от дождевого паводка, который привел к разрушению плотины водохранилища. Данные о пострадавших (травмированных) имеются в двух случаях (2 чел. при половодье и 7 чел. при дождевом паводке). В целом эта статистика указывает на большую вероятность человеческих жертв при паводках в сравнении с половодьями по причине их внезапности.

В 46 случаях (16,3 %) наводнения привели к эвакуации людей. В основном это были наводнения, вызванные половодьем (60,9 %), ледовыми заторами (17,4 %) и паводками (10,9 и 8,7 и 2,2 % для дождевого, снегодождевого и ливневого паводка соответственно). Число эвакуированных, как правило, пропорционально числу затопленных жилых домов. Количественные оценки по затоплению домов приведены для 117 случаев (41 % от всех случаев в базе данных) и распределены по типам ОЯ на основе частоты возникновения. Наиболее масштабные затопления (свыше 1000 домов в одном населенном пункте) зафиксированы при половодьях. При дождевых паводках сопоставимый масштаб ущерба наблюдался только в одном случае – 11 июня 2002 г. в городах Аша, Миньяр и Сим было затоплено в общем сложности 1100 жилых домов.

Оценка экономического ущерба от наводнений, как показано выше, отличается неполнотой. В основном данные доступны не по каждому населенному пункту, а в целом по субъектам РФ, имеют предварительный характер или ограничиваются одной отраслью. Примечателен значительный ущерб от ливневых паводков в крупных городах (в Ижевске и 2014 г. и в Уфе в 2017 г.), что обусловлено высокой плотностью объектов, подверженных воздействию наводнения, их высокой стоимостью, а также более полной публикацией данных об ущербе в этих случаях. Но наибольшая оценка ущерба характерна для весеннего половодья 1990 г. в Башкортостане (250 млн руб. в ценах 1990 г.).

Характеристика паводкоформирующих осадков

Всего в базу данных включена информация о 28 случаях обильных осадков, которые вызвали паводки, из них 27 случаев зафиксированы сетью метеостанций. В 22 из 28 случаев продолжительность выпадения осадков составила свыше 12 ч, что позволяет отнести их к категории продолжительных дождей. При этом только 15 из 28 случаев соответствуют критериям опасного метеорологического явления (сильный ливень, очень сильный дождь или продолжительный дождь), принятым для территории Уральского УГМС.

В пяти случаях (12.06.1993 г. в Кытлыме, 19.07.2007 в Бисере, 25.06.2015 в Губахе, 04.09.2017 в Уфе и 20.07.2020 в Бисерти) сумма осадков за 24 ч, по данным метеостанций, превышала 100 мм. В том числе в двух случаях (25.06.2015 в Губахе и 04.09.2017 в Уфе) более 100 мм осадков выпало за период менее 12 ч. Во всех перечисленных случаях отмечались паводки со значительным ущербом. Условия формирования паводкоформирующих осадков были весьма разнообразными, но в большинстве случаев они выпадали на переувлажненную почву или на нарастающий снежный покров, что было основным фактором, способствующим формированию паводка.

Сравнение результатов с другими регионами РФ

Преобладание наводнений, вызванных паводками или весенним половодьем, определяется режимом стока рек. Так, наиболее опасными и разрушительными являются наводнения, вызванные дождевыми и ливневыми паводками на Северном Кавказе [8], на реках Южной Сибири [6] в бассейне Амура [13] и в других регионах Дальнего Востока. Наводнения, вызванные весенним половодьем, более характерны для равнинных регионов – Европейской части, а также Западной и Центральной Сибири. Особенностью бассейна р. Камы, в частности его горной части, является возможность возникновения наводнений, связанных как с таянием снега, так и с выпадением осадков, и смешанного генезиса (снегодождевых паводков), которые являются наиболее опасными. Повышенное внимание к ним связано с экстремальным паводком 12–14 июня 1993 г. на реках Северного Урала, который повлек разрушение плотины Киселевского водохранилища в г. Серове Свердловской области. Они формируются при выпадении обильных осадков на спаде весеннего половодья или же в осенний период, когда обильные осадки выпадают на временный снежный покров. При снегодождевых паводках отмечаются более резкие подъемы уровней воды, чем в период весеннего половодья, а на некоторых реках и более высокие пики. Характерные случаи снегодождевых паводков на реках бассейна Камы отмечены в июне 1993, 2002, 2017 гг., когда наблюдалось позднее разрушение снежного покрова в горах.

Картография и геоинформатика

Судницына Т.В., Шихов А.Н.

Заключение

Основным результатом работы является созданная картографическая база данных об опасных гидрологических явлениях в бассейне р. Камы и связанном с ними ущербе. База данных объединяет всю имеющуюся информацию об этих явлениях, опубликованную за последние 30 лет в открытых источниках. В перспективе планируется сделать данные доступными через онлайн-картографический сервис, а также использовать созданную базу данных, наряду с другими источниками (в частности спутниковыми данными и реанализом) для создания серии карт опасности и риска наводнений в бассейне р. Камы.

Основным ограничением является разная доступность данных о случаях ОГЯ и ущербе от них за разные годы. В результате имеет место инструментальный рост числа случаев с максимумом в 2016–2017 гг. Фактически же сток весеннего половодья (с которым и связано большинство случаев ОГЯ) на реках бассейна Камы не увеличивается, а на Южном Урале отмечается снижение весеннего стока [4]. В отличие от половодий, рост повторяемости дождевых паводков, вызывающих ущерб, может быть уже не инструментальным, поскольку согласуется с данными об увеличении доли ливневых осадков [17].

В ходе работы выявлены также особенности пространственного распределения случаев ОГЯ. Весенние половодья наиболее часто наносят ущерб в населенных пунктах, расположенных в поймах крупных и средних рек с незарегулированным стоком. Увеличению ущерба способствует застройка поймы и отсутствие защитных сооружений. По совокупности показателей повторяемости затопления и его возможных масштабов (количества объектов, находящихся в зоне затопления) наибольшая опасность наводнений в бассейне Камы характерна для г. Уфы. Особенностью горной части бассейна р. Камы является опасность наводнений, вызванных снегодождевыми паводками.

Библиографический список

1. Архив фактической погоды по метеостанциям России. URL: <http://pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru> (дата обращения 31.05.2024 г.).
2. Борц С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Система прогнозирования паводков и раннего оповещения о наводнениях на реках Черноморского побережья Кавказа и бассейна Кубани // Труды Гидрометцентра РФ. 2015. Вып. 356. 247 с.
3. Бузин В.А., Копалиани З.Д. Наводнения на реках России при современных тенденциях в изменении климата // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2007. № 5. С. 43–54.
4. Варенцова Н.А., Киреева М.Б., Харламов М.А., Варенцов М.И., Фролова Н.Л., Поваляшишникова Е.С. Формирование весеннего стока рек ЕТР: основные факторы и способы их учета. II. Переоценка с учетом современных условий на примере рек бассейна Дона // Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2022. Вып. 384 (2). С. 117–146.
5. Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России. URL: <http://gis.vodinfo.ru/hydrographs/basin/10>
6. Кичигина Н.В. Наводнения Сибири: географический и статистический анализ за период климатических изменений // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2021. № 1. С. 41–59.
7. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. URL: https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/navodneniya-i-vesennie-pavodki_7 (дата обращения: 13.06.2024).
8. 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.
9. Научно-технический журнал «Метеорология и гидрология». URL: <http://mig-journal.ru/archive> (дата обращения 13.06.2024).
10. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь. ООО «Раритет-Пермь», 2014. 296 с.
11. Руководящий документ РД 52.04.563-2013. Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями. СПб: Росгидромет, 2013. 48 с.
12. Специализированные массивы для климатических исследований. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения 31.05.2024).
13. Фролов А.В. и др. ГИС Амур – система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 5–21.
14. Шамин С.И., Бухонова Л.К., Санина А.Т. «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621326.
15. Brakenridge G.R. Global Active Archive of Large Flood Events. Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado, USA. URL: <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/> (дата обращения 31.05.2024)
16. Chernokulsky A, Kurgansky M, Mokhov I, Shikhov A, Azhigov I, Selezneva E, Zakharchenko D, Antonescu B, Kühne T. Tornadoes in Northern Eurasia: from the Middle Age to the Information Era // Mon. Weather Rev. 2020. Vol. 148. P. 3081–3111.
17. Chernokulsky A., Kozlov F., Zolina O., Bulygina O., Mokhov I.I., Semenov V.A. Observed changes in convective and stratiform precipitation in Northern Eurasia over the last five decades // Env. Res. Letters. 2019. Vol. 14, No. 045001–17.
18. Copernicus Climate Data Store. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu> (дата обращения 31.05.2024).
19. de Bruijn J.A., de Moel H., Jongman B. et al. A global database of historic and real-time flood events based on social media // Scientific Data. 2019. Vol. 311 (6). doi: 10.1038/s41597-019-0326-9.
20. EM-DAT: информационная база данных. URL: <https://www.emdat.be> (дата обращения 31.05.2024)

Картография и геоинформатика

Судницына Т.В., Шихов А.Н.

21. Groenemeijer P., Kühne T. A climatology of tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database // *Mon. Weather Rev.* 2014. Vol. 142. P. 4775–4790.
22. Hersbach H. et al. The ERA5 global reanalysis // *Quarterly J. Royal Meteorol. Soc.* 2020. Vol. 146. P. 1999–2049.
23. Li Z., Chen M., Gao S., Gourley J.J., Yang T., Shen X., Kolar R., Hong Y. A multi-source 120-year US flood database with a unified common format and public access // *Earth Syst. Sci. Data.* 2021. Vol. 13. P. 3755–3766.
24. Napolitano E., Marchesini I., Salvati P., Donnini M., Bianchi C., Guzzetti F. LAND-deFeND – An innovative database structure for landslides and floods and their consequences // *J. Environ. Management.* 2018. Vol. 207. P. 203–218.
25. Paprotny D., Terefenko P., Ślędziowski J. An improved database of flood impacts in Europe, 1870–2020: HANZE v2.1, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 2023. doi: 10.5194/essd-2023-321.
26. Pyankov S.V., Abdullin R.K., Shikhov A.N., Semakina A.V. Online web map service for monitoring of snow cover and hazardous hydrological events in the Kama river basin: the features of development and content // *InterCarto, InterGIS.* 2020. Vol. 26. P. 5–19.
27. Tellman B., Sullivan J.A., Kuhn C. et al. Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods // *Nature.* 2021. Vol. 596. P. 80–86.

References

1. Archive of actual weather by meteorological stations of Russia, Available at: <http://pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru> (Assessed 31 May 2024).
2. Borshch S.V., Simonov Yu.A., Khristoforov A.V. (2015), System of flood forecasting and early warning of floods on the rivers of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kuban basin, *Proceedings of the Hydrometeorological Centre of the Russian Federation*, vol. 356, 247 p.
3. Buzin, V.A., Kopaliani, Z.D. (2007) Floods on the Russian rivers under the modern tendencies in climate change (in Russian), *Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*, vol. 5. pp. 43–54.
4. Varentsova, N.A., Kireeva, M.B., Kharlamov, M.A., Varentsov, M.I., Frolova, N.L., Povalishnikova, E.S. (2022), Formation of spring runoff of the rivers of European Russia: main factors and ways of their accounting. II. Reassessment with account of modern conditions on the example of the Don basin rivers. *Hydrometeorological Studies and Forecasts*, vol. 384(2), pp. 117–146.
5. Information system on water resources and water management of Russian river basins. URL: <http://gis.vodinfo.ru/hydrographs/basin/10>.
6. Kichigina N.V. (2021), Floods of Siberia: geographical and statistical analysis for the period of climatic changes, *Bulletin of Saint-Petersbourg State University: Earth Sciences*, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/navodneniya-sibiri-geograficheskii-i-statisticheskii-analiz-za-period-klimaticheskikh-izmeneniy> (Assessed May 31, 2024).
7. Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. Available at: https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/navodneniya-i-vesennie-pavodki_7 (Assessed May 31, 2024).
8. Mironenko A.A., Rets E.P., Frolova N.L. (2022), Modern dynamics of flood hazard indicators on the rivers of the North Caucasus of Russia, *Water Resources*, vol. 49, no. 2, pp. 225–237.
9. Scientific and Technical Journal "Meteorology and Hydrology". Available at: <http://mig-journal.ru/archive> (Assessed May 31, 2024).
10. Pyankov S.V., Shikhov A.N. (2014), *Hazardous hydrometeorological events: mode, monitoring, forecast*. Perm State University, Perm, 296 p.
11. Guiding document RD 52.04.563-2013. Instruction on preparation and transmission of storm messages by observation units (2013), Saint-Petersbourg, Roshydromet publisher, 48 p.
12. Specialised datasets for climate research. Available at: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (assessed 31 May 2024).
13. Frolov A.V., Asmus V.V., Borshch S.V. et al. (2016), GIS-Amur system of flood monitoring, forecasting, and early warning. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, vol. 41, pp 157–169.
14. Shamin S.I., Bukhonova L.K., Sanina A.T. (2019), *Information about hazardous and unfavourable hydrometeorological phenomena that caused economic and social damage on the territory of Russia*, Certificate of state registration of the database No. 2019621326.
15. Brakenridge G.R. Global Active Archive of Large Flood Events. Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado, USA. Available at <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/> (Assessed May 31, 2024).
16. Chernokulsky A, Kurgansky M, Mokhov I, Shikhov A, Azhigov I, Selezneva E, Zakharchenko D, Antonescu B, Kühne T. (2020), Tornadoes in Northern Eurasia: from the Middle Age to the Information Era, *Mon. Weather Rev.*, vol. 148, pp. 3081–3111.
17. Chernokulsky A., Kozlov F., Zolina O., Bulygina O., Mokhov I.I., Semenov V.A. (2019), Observed changes in convective and stratiform precipitation in Northern Eurasia over the last five decades, *Env. Res. Letters*, vol. 14, Art. No. 045001–17.
18. Copernicus Climate Data Store. Available at: <https://cds.climate.copernicus.eu> (assessed 31 May 2024).
19. de Bruijn J.A., de Moel H., Jongman B. et al. (2019), A global database of historic and real-time flood events based on social media, *Scientific Data*, 2019, vol. 311(6). DOI: 10.1038/s41597-019-0326-9.
20. EM-DAT Database. URL: <https://www.emdat.be> (assessed 31 May 2024).
21. Groenemeijer P., Kühne T. (2014), A climatology of tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database, *Mon. Weather Rev.*, vol. 142, pp. 4775–4790.
22. Hersbach H. et al. (2020), The ERA5 global reanalysis, *Quarterly J. Royal Meteorol. Soc.* vol. 146. pp. 1999–2049.
23. Li Z., Chen M., Gao S., Gourley J.J., Yang T., Shen X., Kolar R., Hong Y. (2021), A multi-source 120-year US flood database with a unified common format and public access, *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 13, pp. 3755–3766.
24. Napolitano, E., Marchesini, I., Salvati P., Donnini M., Bianchi C., Guzzetti F. (2018), LAND-deFeND – An innovative database structure for landslides and floods and their consequences, *J. Environ. Management*, vol. 207, pp. 203–218.
25. Paprotny D., Terefenko P., Ślędziowski, J. (2023), An improved database of flood impacts in Europe, 1870–2020: HANZE v2.1, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* [preprint], DOI: 10.5194/essd-2023-321.

*Картография и геоинформатика**Судницына Т.В., Шихов А.Н.*

26. Ryankov S.V., Abdullin R.K., Shikhov A.N., Semakina A.V. (2020), Online web map service for monitoring of snow cover and hazardous hydrological events in the Kama river basin: the features of development and content, *InterCarto, InterGIS*, vol. 26, pp. 5–19.

27. Tellman B., Sullivan J.A., Kuhn C. et al. (2021), Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods, *Nature*, vol. 596, pp. 80–86.

Статья поступила в редакцию: 30.05.24, одобрена после рецензирования: 30.08.24, принята к опубликованию: 12.09.24.
The article was submitted: 30 May 2024; approved after review: 30 August 2024; accepted for publication: 12 September 2024.

Информация об авторах**Татьяна Владимировна Судницына**

аспирант кафедры картографии
и геоинформатики,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: tanek51@mail.ru

Андрей Николаевич Шихов

доктор географических наук, профессор
кафедры картографии и геоинформатики,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет;
614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15;

научный сотрудник Института наук о Земле,
Санкт-Петербургский государственный
университет
199034, Россия, г. Санкт-Петербург,
Университетская наб., д. 7–9

e-mail: shikhovan@gmail.com

Information about the authors**Tatiana V. Sudnitsyna**

Postgraduate Student of the Department of
Cartography and GIS,
Perm State University;

15 Bukireva str., Perm, 614068, Russia

Andrey N. Shikhov

Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Department of Cartography and GIS,
Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia;

Researcher, Earth Sciences Institute, St. Petersburg
State University

7-9 Universitetskaya Embankment, St Petersburg,
Russia, 199034

Вклад авторов

Судницына Т.В. – сбор данных, создание структуры базы данных, создание карт, подготовка текста.

Шихов А.Н. – постановка задач, редактирование базы данных, редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Tatiana V. Sudnitsyna – data collection; creation of the database structure; creation of maps; text preparation.

Andrey N. Shikhov – problem statement; editing of the database; editing of the text.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.