

Моделирование и оценка длительности затопления местности при наводнении редкой повторяемости. Часть 1

ISSN 1996-8493

DOI: 10.54234/CST.19968493.2023.20.3.77

© Технологии гражданской безопасности, 2023

И.Ю. Олтян, Е.В. Арефьева, М.В. Болгов, И.В. Жданенко, Е.Б. Сергеев, А.С. Котосонов

Аннотация

При планировании и выполнении задач инженерного обеспечения при ликвидации ЧС и организации мер по смягчению ЧС необходимо прогнозировать параметры поражающих факторов источников чрезвычайных ситуаций, обусловленных наводнением. В статье приведен обзор распространенных методов оценки параметров наводнений, а также представлено описание одного из методов прогнозирования параметров наводнений редкой повторяемости — длительности затопления местности при рассматриваемых ЧС. Приведена последовательность расчета длительности периода затопления по хронологическому графику изменения уровней воды на гидрологическом посту (гидрографу уровней).

Работа выполнена в рамках договора от 07.10.2021 № Д-0172/2021 на выполнение НИР «Разработка методики моделирования наводнений». Заказчик — АО «Российская национальная перестраховочная компания».

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация; паводковое наводнение; затопление местности; повторяемость наводнений; длительность затопления; водомерный график; гидрограф-модель; коэффициент перехода.

Modeling and Estimation of the Flooding Area Duration in Event of Floods of Rare Occurrence. Part 1

ISSN 1996-8493

DOI: 10.54234/CST.19968493.2023.20.3.77

© Civil Security Technology, 2023

I. Oltyan, E. Arefieva, M. Bolgov, I. Zhdanenko, E. Sergeev, A. Kotosonov

Abstract

When planning and performing engineering support tasks for emergency response and organization of emergency mitigation measures, it is necessary to predict parameters of emergency situations damaging factors sources caused by flooding. The article provides an overview of common methods for assessing flood parameters, as well as description of one of the methods for predicting flood parameters of rare recurrence — duration of flooding area in considered emergencies. Estimation sequence of flooding period duration according to the chronological schedule of water levels changes at the gauging station (levels hydrograph) is given.

The work was carried out within the framework of the contract dated 07.10.2021 No. D-0172/2021 for the implementation of research “Development of flood modeling methodology”. The customer is JSC “Russian National Reinsurance Company”.

Key words: emergency situation; overflowing flood; flooding of the area; floods return period; duration of flooding; water-measuring chart; hydrograph model; transition coefficient.

Введение

Вопросам исследования экстремальных гидрологических явлений (в т.ч. наводнений) в России и мире посвящено значительное количество работ, выполненных в лаборатории глобальной гидрологии Института водных проблем РАН [1–4]. Создана и непрерывно актуализируется база данных по наводнениям [5].

В работе [6] отмечено, что «в общей сложности число учтенных наводнений достигло 3665 случаев. Из них 3224, или 88% от общего числа, — наводнения основного встречающегося в мире типа: «ливневые» или паводковые». Распределение наводнений в России по генетическим типам приведено на рис. 1.

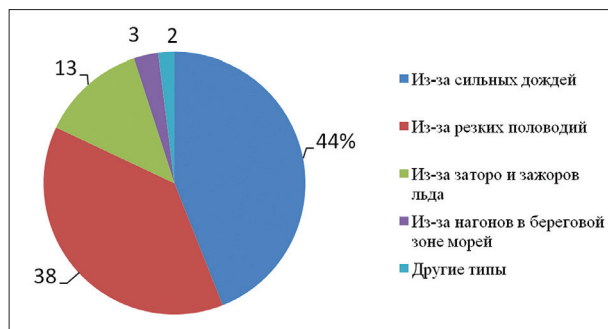


Рис. 1. Распределение наводнений в России по генетическим типам (по материалам [3])

В работе [6] представлены основные пространственные ареалы наводнений вследствие осадков в жидкой фазе. Для Российской Федерации выделено 5 ареалов: зональный российский, байкальский, северокавказский, дальневосточный, колымский (рис. 2).

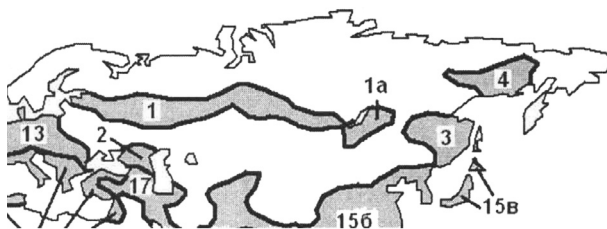


Рис. 2. Основные ареалы наводнений вследствие экстремальных осадков в жидкой фазе [фрагмент карты [6, рис. 3.9.1]]. Цифрами на карте обозначены ареалы: 1 — зональный российский; 1а — байкальский; 2 — северокавказский; 3 — дальневосточный; 4 — колымский

К исследуемым параметрам наводнений авторы отнесли: координаты центров регионов наводнений; даты начала наводнений, их длительность; площадь затопления. Обзору некоторых работ по моделированию и оценке этих параметров посвящена представленная статья.

Для прогнозных расчетов оценки параметров наводнений на основе ряда наблюдений часто используется статистическое распределение логарифмических значений из соответствующего нормального распределения. Так, в работе [6] отмечено, что преобладающими типами распределения длительности наводнений,

удовлетворительно описывающими данные наблюдений, являются логнормальное и логэкстремальное (рис. 3).

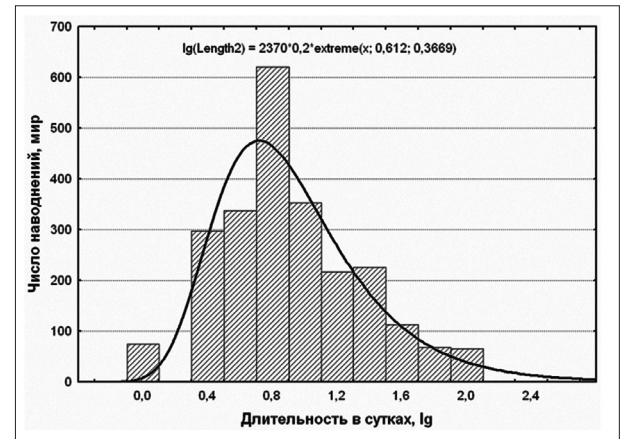


Рис. 3. Плотность вероятности длительности наводнения, в сутках (десятичные логарифмы) [6, рис. 3.4.3]

Для выявления изменчивости и зависимости гидрологических параметров от экстремальных осадков на рассматриваемой территории в работе [6, табл. 3.9.1] для ареалов (рис. 2) определены средние значения и среднеквадратические отклонения параметров наводнений вследствие экстремальных осадков (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения и среднеквадратические отклонения параметров наводнений вследствие экстремальных осадков (цитировано по [6], табл. 3.9.1)

Ареал	Дата начала, календ. мес. (среднеквадр. отклонение)	Длительность, сут. (среднеквадр. отклонение)	Ущерб, млн долл. США (среднеквадр. отклонение)
Зональный – РФ	6,0 (1,0)	4,0 (6,0)	0,5 (1,0)
Северный Кавказ	6,2 (2,0)	5,9 (8,0)	42 (133)
Дальневосточный РФ	6,6 (1,3)	7,2 (7,6)	12 (17)
Прибайкалье	6,3 (0,7)	9,1 (9,9)	н/д
Колымский	8,6 (0,8)	1,5 (1,5)	6,9 (2,0)

В работах зарубежных ученых [7–9] определяются зависимости длительности наводнений от максимального расхода воды и типа наводнений (рис. 4). Для изученных в гидрологическом плане территорий с длительным рядом наблюдений построены региональные модели (для провинций Квебек и Онтарио (Канада), водосборных бассейнов Дуная, Майна (притока Рейна) и Заале (притока Эльбы) (Германия, Австрия, Чехия)) [7, 9].

Знание типа наводнения и формирования максимального расхода воды позволяет своевременно рассчитать необходимые силы и средства, а также принять меры по оповещению и информированию населения.

Специалистами Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева (г. Москва) в 1990-е годы разработана

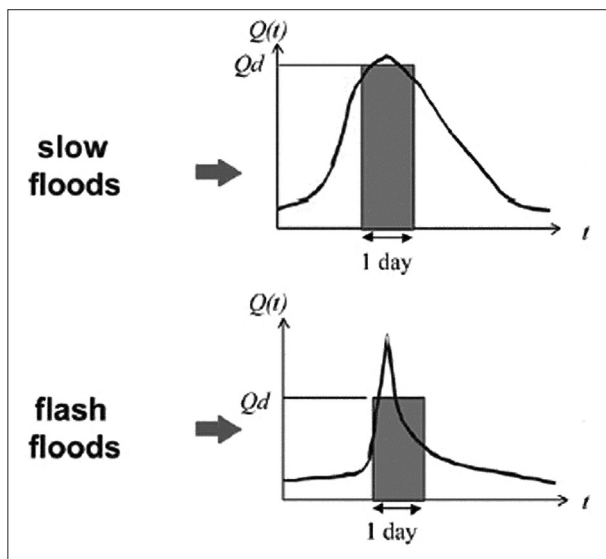


Рис. 4. Графики изменения уровней воды по дням при постепенном подъеме воды (вверху) и ливневом паводке (внизу) [7]

методика прогнозирования паводкового наводнения [10]. Отмечено, что заблаговременно должны быть: проведена съемка гидрографической сети территории; известна характеристика рек в их естественном состоянии; выявлены факторы и явления, которые могут внести изменения в режим водных преград. При прогнозировании паводкового наводнения расчетное русло рассматриваемых рек «схематизируется в виде составных русел, состоящих из отдельных призматических расчетных участков обобщенного профиля с обобщенными гидрологическими и морфологическими характеристиками» [10]. Приведены зависимости для построения паводочной волны и продолжительности затопления в произвольном створе реки, которое зависит от скорости течения и глубины «бытового» потока, а также показателя формы долины реки.

Таким образом, длительность наводнения является одним из ключевых параметров при оценке риска ЧС, источниками которых являются опасные гидрологические процессы [11–13].

Целью статьи является описание одного из подходов к моделированию длительности затопления при наводнениях различной обеспеченности, не только экстремальных (на примере Иркутской области), на изученных в гидрологическом плане территориях.

Моделирование длительности затопления при наличии данных гидрологических наблюдений

Одним из методов определения длительности затопления местности является метод, основанный на использовании хронологических графиков изменения уровней воды на гидрологическом посту (далее — гидрографов уровней $h = f(t)$) [14], что возможно только при наличии данных гидрологических наблюдений.

Рассмотрим возможность моделирования длительности затопления местности при паводковых

наводнениях на примере наводнения 2019 года на р. Ия (Иркутская область). Наводнение носило катастрофический характер, сопровождалось значительным ущербом и человеческими жертвами [15]. Уровни воды превысили проектные величины, в том числе и по причине дополнительного влияния гидротехнических сооружений (мостовых переходов, дамб) и сужений русла р. Ия [16]. Бассейн р. Ия является характерным для региона по условиям формирования наводнений, в целом регион достаточно хорошо изучен. Имеющиеся материалы изученности могут быть, в том числе, положены в основу разработки методической базы для оценки редких событий, требуемой при управлении рисками наводнений на застроенных территориях.

По данным МЧС России, в первую волну наводнения длительность затопления населенных пунктов, расположенных на реке Ия, составляла от 1 до 25 дней (г. Тулун) (табл. 2). В общей сложности в первой волне наводнения было затоплено 109 населенных пунктов на реках: Бирюса, Большая Белая, Икейка, Ия, Зима, Кирей, Куйт, Ока, Уда, Ут, Чуна.

Столь длительный период затопления местности в г. Тулуна (25 суток), по всей видимости, объясняется не сколько гидрологическими особенностями территории (которые и не отражены на гидрографе уровня), сколько тем фактом, что рядом с опорами моста федеральной трассы Р-255 «Сибирь» образовался затор (и подпор уровня воды), вызванный снесенными частными домами [17].

По данным Росгидромета [18], только вблизи двух из 23 населенных пунктов, приведенных в табл. 2, расположены гидрологические посты (гидропосты) (г. Тулун, п. Аршан), сведения о ежедневных уровнях с которых позволяют построить гидрографы уровней.

Пример гидрографа уровней воды на гидропосту 8233 Тулун (река Ия, Иркутская область) в период наводнения в июне-июле 2019 года приведен на рис. 5. На рис. 5 отмечен нуль гидропоста, а также даты начала затопления и даты освобождения от воды (по данным МЧС России, табл. 2). На рис. 6 показаны зоны затопления г. Тулуна в результате катастрофического наводнения в июне-июле 2019 года.

При анализе гидрографа уровней воды (рис. 5) и сведений по затоплению населенных пунктов (табл. 2) возникают вопросы: С какой отметки уровня воды на гидропосту принимать начало наводнения? Сколько времени вода стоит на определенном уровне? Это важно знать для прогнозирования ущерба и определения риска ЧС, источниками которых являются наводнения.

Для ответа на эти вопросы используем действующий свод правил [14], согласно которому «продолжительность стояния высоких уровней устанавливают по хронологическим графикам уровней воды в период паводков, наиболее неблагоприятных по условиям затопления и подтопления застраиваемой территории». В своде правил [14] также отмечено, что «вероятностные значения продолжительности стояния определяют по кривой обеспеченности ежегодной длительности превышения той или иной отметки затопления (например, отметки выхода воды на пойму)».

Таблица 2

Сведения по затоплению населенных пунктов, попавших в зону ЧС, источником которой являлись дождевые паводки на р. Ия (июнь-июль 2019 г.) [по данным МЧС России]

№ п/п	Наименование муниципального района (городского округа)	Наименование населенного пункта	Дата подтопления	Дата освобождения от воды	Кол-во дней
1	Тулунский район	г. Тулун	28.06.2019	23.07.2019	25
2		п. Аршан	27.06.2019	01.07.2019	4
3		д. Харантей	27.06.2019	02.07.2019	5
4		д. Кривуша	27.06.2019	01.07.2019	4
5		с. Гадалей	28.06.2019	02.07.2019	4
6		д. Красный Октябрь	28.06.2019	02.07.2019	4
7		п. Евдокимовский	28.06.2019	02.07.2019	4
8		уч. Краснозерский	28.06.2019	04.07.2019	6
9		Казаково	28.06.2019	04.07.2019	6
10		д. Нижний Манут	28.06.2019	04.07.2019	6
11		д. Заусаево	29.06.2019	02.07.2019	3
12		д. Паберега	29.06.2019	04.07.2019	5
13		д. Альбин	29.06.2019	04.07.2019	5
14		с. Бурхун	29.06.2019	02.07.2019	3
15		п. Октябрьский 1	28.06.2019	04.07.2019	6
16		д. Малый Утайчик	28.06.2019	01.07.2019	3
17		п. Ермаки	01.07.2019	02.07.2019	1
18		с. Бадар	30.06.2019	02.07.2019	2
19		с. Икей	01.07.2019	02.07.2019	1
20		п. Октябрьский 2	29.06.2019	04.07.2019	5
21		п. Иннокентьевский	01.07.2019	02.07.2019	1
22		д. Владимировка	01.07.2019	02.07.2019	1
23	Чунский район	п. Приудинск	28.06.2019	03.07.2019	5

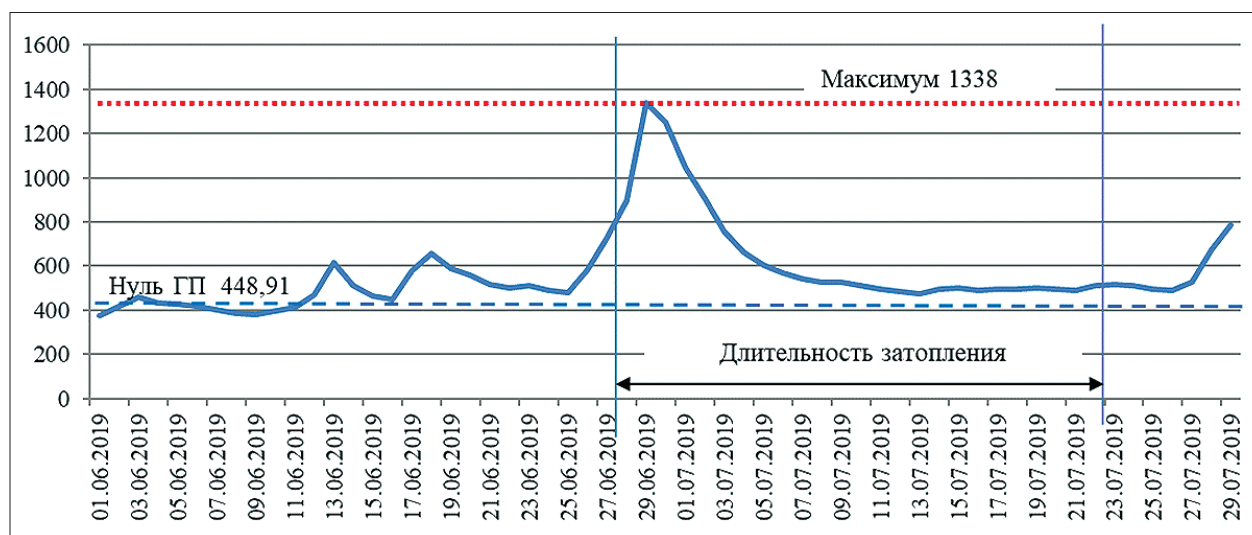


Рис. 5. Гидрограф наводнения 2019 года на р. Ия (гидропост 8233 Тулун) (построено по данным [19])

Таблица 3

Динамика изменения площади зеркала воды в районе г. Тулуна [17]

Дата	Площадь зеркала воды, км ²	Динамика площади затопления, км ²
19.06.2019	5,8 – русло реки	–
29.06.2019	18,9	+13,1
30.06.2019	18,7	–0,2
01.07.2019	15,2	–3,5
03.07.2019	11,8	–3,4

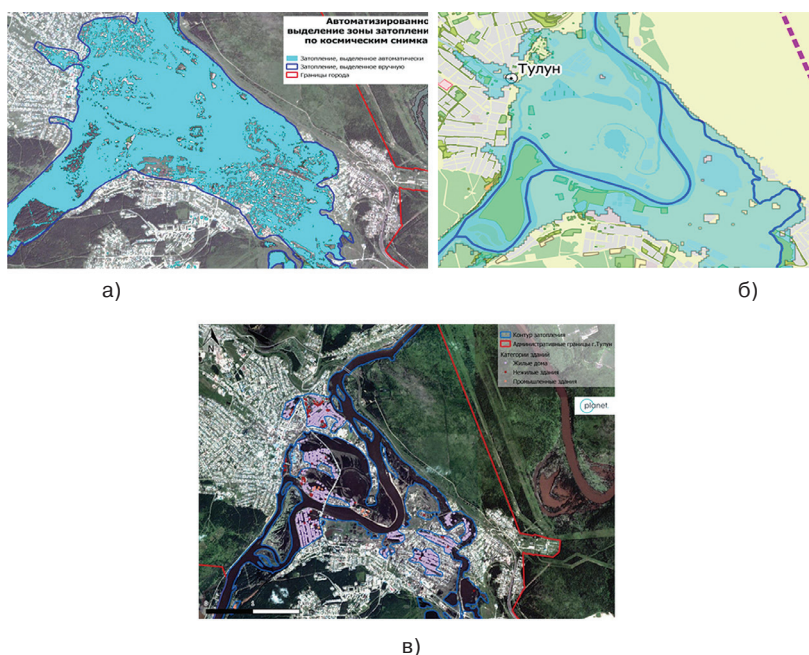


Рис. 6. Зона затопления г. Тулуна в июне-июле 2019 г.

а) зона затопления г. Тулуна, выделенная вручную и на основе индекса NDWI¹ [17]; б) смоделированное затопление [12]; в) картосхема затопления строений г. Тулуна. Planet Score от 03.07.2019 [17]

Таким образом, длительность затопления может быть определена для местности вблизи действующего гидропоста (при наличии данных гидрологических наблюдений) в следующей последовательности:

выполняется расчет уровней воды заданной обеспеченности;

выполняется построение гидрографа-модели;

рассчитываются коэффициенты перехода от гидрографа-модели к гидрографу заданной обеспеченности;

по гидрографу заданной обеспеченности определяется длительность затопления.

Расчет уровней воды заданной обеспеченности производится по требованиям действующего свода правил [14] и методических рекомендаций по его использованию [20] на основе построения кривых Крицкого-Менкеля и Пирсона. Целесообразно использовать программный комплекс для определения гидрологических характеристик для изученных и недостаточно изученных рек, который сертифицирован и включает три модуля: HydroStatCalc.exe; FreqShrt2009.exe; ComposeFreq.exe [21], а также разработанное в ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) специальное программное обеспечение [22].

Далее по данным ежедневных уровней воды $h = f(t)$, хранящихся в базе данных временных рядов уровней воды для каждого действующего гидропоста Российской Федерации «Data Hydrolog SQL» [23], строится гидрограф уровней воды за весь период наблюдения. База данных Data Hydrolog SQL содержит более 4,2 млн записей, начиная с 2008 года. Из всего гидрографа уровней выбирается единичный одновершинный гидрограф с наибольшим наблюдаемым уровнем, который в дальнейшем принимается за

гидрограф-модель. Пример единичного одновершинного гидрографа приведен на рис. 5.

Гидрограф-модель используется для перехода к гидрографу заданной обеспеченности с помощью коэффициентов перехода $K_{p\%}$ [14]:

$$K_{p\%} = \frac{H_{p\%}}{H_{\max}}, \quad (1)$$

где:

$H_{p\%}$ – расчетный уровень воды заданной обеспеченности;

H_{\max} — максимальный уровень воды гидрографа-модели;

$p\%$ — индексы, которые соответствуют обеспеченности (как правило, используются обеспеченности: 0,5%, 1%, 5%, 10%, 20%, а также 50%).

Далее строятся гидрографы заданной обеспеченности $p\%$ путем умножения уровней на гидрографе-модели на коэффициент $K_{p\%}$.

Для определения по гидрографу длительности затопления заданной обеспеченности $p\%$ необходимо знать отметки затопления территории. В соответствии со сводами правил [14] за отметку затопления территории можно принимать уровень выхода воды на пойму (при наличии таких данных). При отсутствии таких данных авторами принято допущение: за отметку затопления территории принимается уровень, соответствующий 50%-ной обеспеченности (повторяемости наводнений с таким уровнем воды 1 раз в 2 года [24]). Такое предположение основано на анализе имевших место ЧС в Иркутской области, источниками которых являются дождевые паводки, в период с 1991 по 2022 год [15, 25, 26] (табл. 4).

¹ NDWI — Нормализованный разностный водный индекс (Normalized Difference Water Index).

Таблица 4
 Сведения о чрезвычайных ситуациях, произошедших на территории Иркутской области за период 1991–2022 гг., источниками которых являются дождевые паводки

Год	Даты	Зона ЧС	ГП в зоне ЧС (номер)	ГП в зоне ЧС (название)	Нуль ГП, БСВ	Наблюденный уровень на ГП	Дата наблюдения	Уровень НЯ (выход на пойму)	Уровень ОЯ (подтопление)	Глубина затопления (расчетная, Крицкий-Менкель), при обеспеченности					
										50%	20%	10%	5%	1%	0,5%
1999	16–18.05	Киренский р-н	3019	Киренск	249,38	638	11.05.1999	500	н\д	481	573	627	674	761	795
		Каганский р-н	9405	Преображенка	329,72	974	12.05.1999	н\д	н\д	834	946	1007	1052	1141	1176
		Каганский р-н	9406	Ербогачен	256,08	1190	18.05.1999	н\д	н\д	1043	1174	1248	1301	1406	1448
		Каганский р-н	9518	Непа	300,34	884	10.05.1999	н\д	н\д	779	903	969	1020	1116	1153
		Жигаловский р-н	3004	Жигалово	408,82	400	14.05.2001	н\д	н\д	235	305	349	387	465	499
		Усть-Кутский р-н	3008	Усть-Кут	408,82	929	14.05.2001	н\д	н\д	464	595	669	728	846	885
		Киренский р-н	3019	Киренск	249,38	737	15.05.2001	500	н\д	481	573	627	674	761	795
		Казачинско-Ленский р-н	3083	Карам	490,53	500	12.05.2001	н\д	н\д	273	339	376	408	471	496
		Казачинско-Ленский р-н	3085	Ключи	356,88	525	15.05.2001	н\д	н\д	479	515	532	546	571	579
		Киренский р-н	3087	Шорохово	254,24	495	29.05.2001	н\д	н\д	488	550	589	625	704	738
2001	Май	Мамско-Чуйский р-н	3555	Мама	202,51	1045	28.05.2001	н\д	н\д	1121	1242	1320	1384	1533	1591
		Тайшетский р-н	8329	Талая	300,46	409	13.05.2001	н\д	н\д	385	474	518	553	618	640
		Тайшетский р-н	8331	Бирюсинск	249,78	445	14.05.2001	400	500	368	432	470	504	564	587
		Каганский р-н	9405	Преображенка	329,72	1006	16.05.2001	н\д	н\д	834	946	1007	1052	1141	1176
		Каганский р-н	9406	Ербогачен	256,08	1229	22.05.2001	н\д	н\д	1043	1174	1248	1301	1406	1448
		Каганский р-н	9518	Непа	300,34	932	14.05.2001	н\д	н\д	779	903	969	1020	1116	1153
		Иркутск	8013	ГЭС Иркутская	425,59	152	05.08.2001	н\д	н\д	134	173	192	207	234	243
		Шелехов	8120	Олга	450,1	271	08.07.2001	н\д	н\д	132	177	206	232	289	314
		Черемховское районное м.о.	8172	Мишелевка	410,48	822	09.07.2001	н\д	н\д	427	512	569	625	758	816
		Каганский р-н	9405	Преображенка	329,72	1006	16.05.2001	н\д	н\д	834	946	1007	1052	1141	1176
Каганский р-н	9406	Ербогачен	256,08	1229	22.05.2001	н\д	н\д	1043	1174	1248	1301	1406	1448		
Каганский р-н	9518	Непа	300,34	932	14.05.2001	н\д	н\д	779	903	969	1020	1116	1153		
2005	27.04–01.05	Тайшетский р-н	8329	Талая	300,46	458	28.04.2005	н\д	н\д	385	474	518	553	618	640

Окончание табл. 4

Год	Даты	Зона ЧС	ГП в зоне ЧС (номер)	ГП в зоне ЧС (название)	Нуль ГП, БСВ	Наблюденный уровень на ГП	Дата наблюдения	Уровень НЯ (выход на пойму)	Уровень ОЯ (подтопление)	Глубина затопления (расчетная, Крицкий-Менкель, при обеспеченности					
										50%	20%	10%	5%	1%	0,5%
		Тайшетский р-н	8331	Бирюсинск	249,78	486	29.04.2005	400	500	368	432	470	504	564	587
		р.п. Шиткино	8334	Шиткино	212,29	670	30.04.2005	600	н\д	541	613	656	700	784	819
		г. Алмазай	8347	Алмазай	285,24	472	28.04.2005	н\д	н\д	326	390	423	448	496	514
2006	21.06	г. Тулун	8233	Тулун	448,91	899	15.07.2006	610	850	641	805	923	1040	1339	1474
		г. Алмазай	8347	Алмазай	285,24	478	21.06.2006	н\д	н\д	326	390	423	448	496	514
2011	24.04	Киренский р-н	3019	Киренск	249,38	411	26.04.2011	500	н\д	481	573	627	674	761	795
		Киренский р-н	3019	Киренск	249,38	609	07.05.2013	500	н\д	481	573	627	674	761	795
2013	06.05	Каганский р-н	9405	Преображенка	329,72	1090	06.05.2013	н\д	н\д	834	946	1007	1052	1141	1176
		Каганский р-н	9406	Ербогачен	256,08	1049	14-15.05.2013	н\д	н\д	1043	1174	1248	1301	1406	1448
		Каганский р-н	9518	Непа	300,34	974	10-11.05.2013	н\д	н\д	779	903	969	1020	1116	1153
		Слюдянский р-н	7170	Байкальск	485	422	28.07.2019	н\д	н\д	327	363	384	400	431	443
		Слюдянский р-н	7171	Байкальск	497,47	189	29.07.2019	н\д	н\д	131	149	159	169	191	201
		Слюдянский р-н	7172	Утулик	466,5	349	29.07.2019	н\д	н\д	273	327	361	394	473	508
		Слюдянский р-н	7174	Мангауй	484,2	169	28.07.2019	н\д	н\д	138	172	196	220	279	306
		Слюдянский р-н	7176	Слюдянка	525,5	322	28.07.2019	н\д	н\д	220	244	259	272	301	313
		Черемховское районное м.о.	8172	Милелевка	410,48	573	31.07.2019	н\д	н\д	427	512	569	625	758	816
2019	Июль	Зиминское районное м.о.	8207	Ухтуй	442,71	560	30.06.2019	364	588	363	442	494	545	653	700
		Куйтунский р-н	8209	Усть-Када	406,9	650	01.07.2019	н\д	н\д	366	440	489	537	652	703
		Зиминское районное м.о.	8219	Зулумай	507,08	433	29-30.07.2019	н\д	н\д	253	301	328	353	404	423
		г. Тулун	8233	Тулун	448,91	1382	29.06.2019	610	850	641	805	923	1040	1339	1474
		Тулунский р-н	8241	Уйтаг	483,92	615	28.06.2019	н\д	н\д	294	359	405	450	561	610
		Тулунский р-н	8246	Утай	488,05	379	29.06.2019	н\д	н\д	302	335	354	367	393	404
		г. Нижнеудинск	8304	Нижнеудинск	401,31	507	28.06.2019	334	370	253	310	349	386	465	499
		Шелеховский р-н	8410	Баклаши	440	486	29.07.2019	н\д	н\д	416	468	499	529	590	614

Примечание. В обозначенных серым ячейках таблицы приведены уровни воды, достигнутые при затоплении местности.

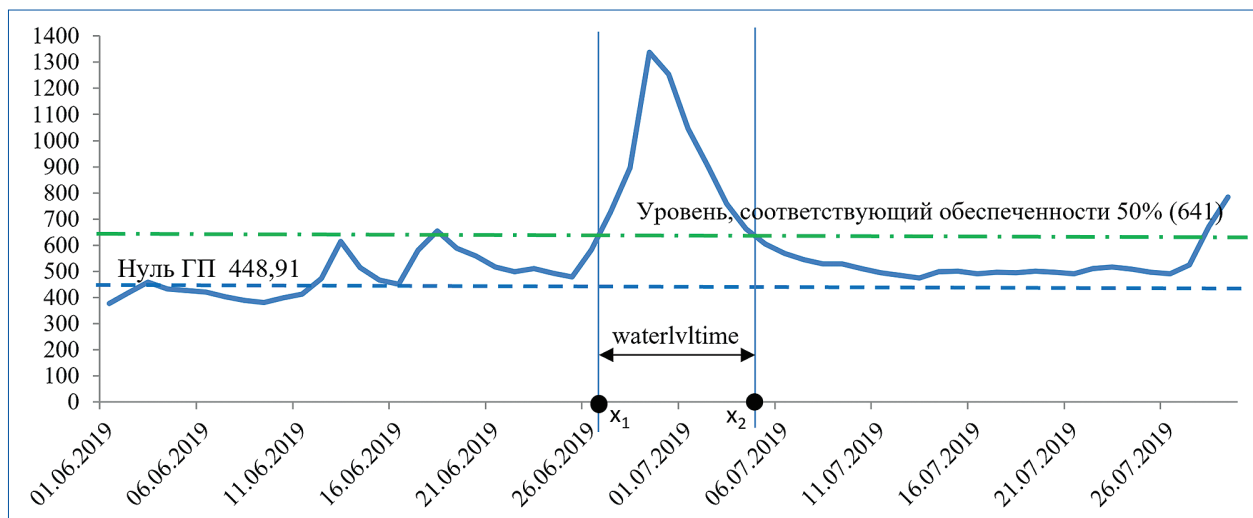


Рис. 7. Определение длительности затопления по гидрографу уровней

В табл. 4 представлены сведения о чрезвычайных ситуациях, произошедших на территории Иркутской области за период 1991–2022 гг., источниками которых являются дождевые паводки, а также данные о гидропостах, на которых наблюдался подъем уровня воды, максимальный наблюдаемый уровень, а также расчетные уровни воды при обеспеченности: 50%, 20%, 10%, 5%, 1%, 0,5%. По данным табл. 4 определено, что в 7% случаев (8 случаев из 47 проанализированных) режим ЧС вводился при уровнях, соответствующих обеспеченности 50% и более (повторяемость наводнений с таким уровнем воды — 1 раз в 2 года [24] и чаще).

Далее на гидрографе (рис. 7) строится прямая:

$$y = \text{waterdepth}_{50\%},$$

где $\text{waterdepth}_{50\%}$ — уровень, соответствующий обеспеченности 50%.

Длительность затопления определяется по формуле:

$$\text{waterlvltime} = x_2 - x_1, \quad (2)$$

где x_1, x_2 — абсциссы точки пересечения гидрографа обеспеченности 50% с прямой $y = \text{waterdepth}_{50\%}$; $x_2 > x_1$ (рис. 7).

Результаты

Метод моделирования длительности затопления местности при катастрофических наводнениях при наличии данных гидрологических наблюдений был апробирован на пилотном субъекте Российской Федерации — на Иркутской области.

Общая длина рек Иркутской области — 309355 км. По данным Росгидромета, в Иркутской области по состоянию на декабрь 2022 года, действовал 131 гидрологический пост (ФГП) (рис. 8). Большая их часть имеет длительный период наблюдений (рис. 9).

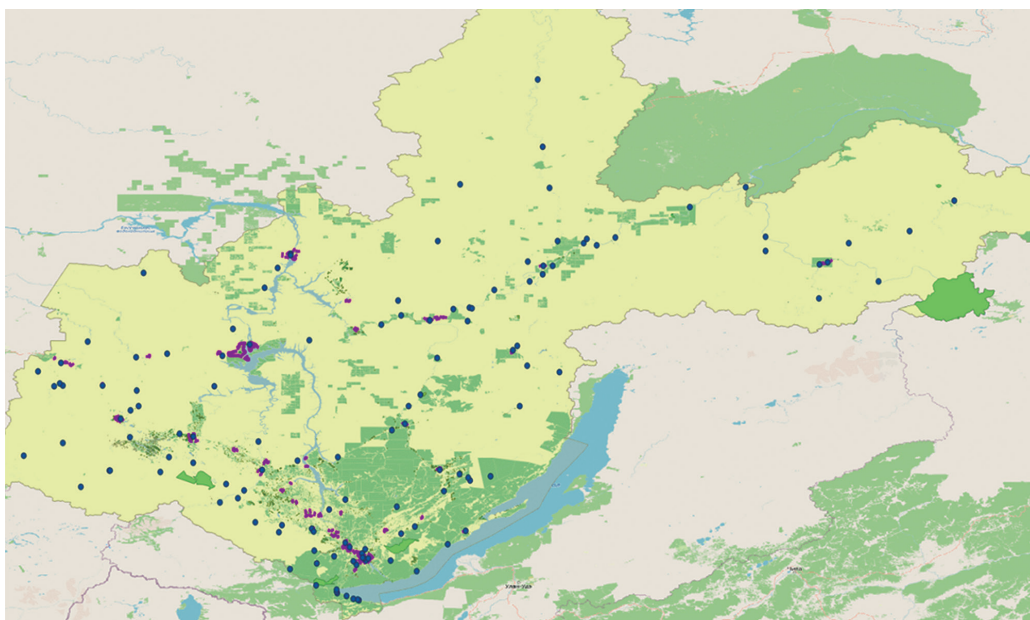


Рис. 8. Расположение фактических гидропостов на территории Иркутской области (синие точки) [получено авторами по данным [18]]

Территория Иркутской области принадлежит трем бассейновым округам: Ангаро-Байкальскому, Енисейскому, Ленскому (рис. 10).

В свою очередь, бассейновые округа поделены на гидрографические единицы подбассейнового уровня² (бассейны рек, впадающих в главную реку гидрографической единицы бассейнового уровня) (табл. 5). Установление (выделение) гидрографических единиц и определение их границ проводятся на основе государственных топографических карт и цифровых моделей рельефа с использованием геоинформационных технологий [28]. Словесное описание опорных точек утверждено соответствующим приказом³.

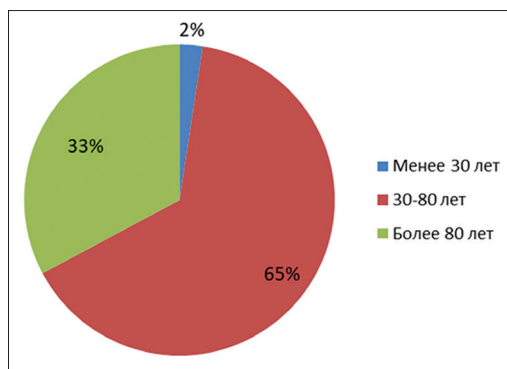


Рис. 9. Длительность наблюдений на гидропостах Иркутской области [получено авторами по данным [18]]

Рассматриваемый регион характеризуется повышенной паводочной опасностью; в последние десятилетия отмечались сильные дождевые паводки, приводившие к огромным ущербам [16].

В результате проведенной работы выполнено моделирование продолжительности затопления по гидрографу для всех гидропостов Иркутской области: получены некоторые результаты моделирования, часть которых приведена в табл. 6. Стоит отметить, что единичные одновершинные гидрографы удалось выделить из гидрографов уровней только для 43 гидропостов (табл. 7).

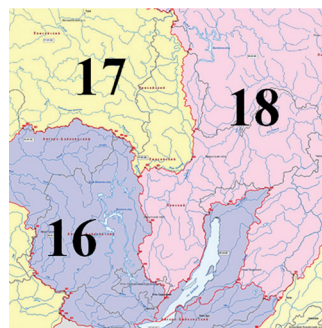


Рис. 10. Бассейновые округа [27]. Цифрами на карте обозначены: 16 — Ангаро-Байкальский бассейновый округ; 17 — Енисейский бассейновый округ; 18 — Ленский бассейновый округ

Таблица 5

Распределение гидропостов Иркутской области по гидрографическим единицам

Бассейновый округ	Код гидрографической единицы	Наименование гидрографической единицы	Количество гидропостов
Ангаро-Байкальский	16.01.01.000	Ангара от истока до Братского гидроузла	41
	16.01.02.000	Реки Чуна (Уда), Бирюса, Тасеева	20
	16.01.03.000	Ангара от Братского гидроузла до устья	7
	16.02.00.000	Бассейны рек южной части оз. Байкал	7
	16.04.00.000	Бассейны рек средней и северной части оз. Байкал	3
Енисейский	17.01.07.000	Нижняя Тунгуска	7
Ленский	18.03.01.000	Нижняя Тунгуска	36
	18.03.02.000	Витим	7
	18.03.03.000	Лена между впадением Витима и Олекмы	1
	18.03.04.000	Олекма	2
ИТОГО			131

Таблица 6

Продолжительность затопления для некоторых ГП при наличии ежесуточных данных уровней воды для гидропостов гидрографической единицы 16.01.01.000 — Ангара от истока до Братского гидроузла

Гидропост	Расположение ГП	Река	Длительность затопления при обеспеченности р, %									
			20		10		5		1		0,5	
			час.	дни	час.	дни	час.	дни	час.	дни	час.	дни
8099	с. Тибельти	р. Иркут	99,8	4,2	187	7,8	244	10,2	393,4	16,4	656,3	27,3
8194	д. Метляева	р. Бирит	161,6	6,7	171,7	7,2	174,4	7,3	178	7,4	179,2	7,5
8219	п. Зулумай	р. Зима	86,3	3,6	125,7	5,2	147	6,1	275,8	11,5	315,5	13,1
8233	г. Тулун	р. Ия	113,4	4,7	166,7	6,9	208,1	8,7	224,3	9,3	303,6	12,7
8249	с. Покосное	р. Бада	113	4,7	174,7	7,3	240,8	10	296,7	12,4	329,4	13,7

² Приказ Минприроды от 25.04.2007 № 112 « Об утверждении Методики гидрографического районирования территории Российской Федерации».

³ Приказ Минприроды от 11.10.2007 № 265 «Об утверждении границ бассейновых округов».

Таблица 7

Средние значения и среднеквадратические отклонения длительности затопления при наводнениях 0,5% обеспеченности (повторяемости 1 раз в 200 лет)

Гидрографическая единица	Кол-во ГП для расчета	Длительность, сут. (математическое ожидание)	Среднеквадратическое отклонение, сут.
Ангаро-Байкальский бассейновый округ			
16.01.01.000	5	14,86	6,6
16.01.02.000	5	4,9	0,43
16.01.03.000	3	19,6	3,6
16.02.00.000	1	16,2	0
16.04.00.000	2	7,75	2,65
Енисейский бассейновый округ			
17.01.07.000	6	9,65	3,68
Ленский бассейновый округ			
18.03.01.000	16	16,5	9,16
18.03.02.000	4	15,55	5,9
18.03.03.000	0	0	0
18.03.04.000	1	3,6	0
Иркутская область	43	13,4	8,33

В табл. 7 приведены средние значения и среднеквадратические отклонения длительности затопления при наводнениях 0,5%-ной обеспеченности (повторяемости 1 раз в 200 лет).

Выводы

В статье показана возможность использования хронологических графиков изменения уровней воды на гидрологическом посту для моделирования длительности затопления местности. Принято допущение, что затопление местности начинается с уровня, соответствующего 50%-ной обеспеченности. Результаты моделирования длительности затопления местности при наличии данных гидрологических наблюдений при катастрофических наводнениях убедительно

согласуются с фактическими данными (на примере катастрофического наводнения в г. Тулузе в 2019 г.) и с данными, полученными другими исследователями.

Результаты моделирования показывают, что хронологический график изменения уровней воды на гидрологическом посту (гидрограф уровней) в дальнейшем может быть использован для построения зависимости длительности затопления местности от прогнозируемого уровня воды.

Вместе с тем данные, полученные для неслучайной выборочной совокупности гидропостов, нельзя распространять на всю генеральную совокупность гидропостов. Требуются дополнительные исследования по разработке более универсального метода моделирования длительности затопления при паводковых наводнениях, в том числе катастрофических.

Литература

- Добровольский С. Г. Характеристика наводнений на территории России по природным и социально-экономическим параметрам / С. Г. Добровольский, М. Н. Истомина // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 5. С. 515-531. EDN: KWIMGL.
- Истомина М. Н. Основные ареалы наводнений ливневого типа в мире: особенности природных параметров наводнений и характеристик социально-экономических ущербов / М. Н. Истомина, В. Ю. Пасечкина, С. Г. Добровольский // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2016. № 43. С. 26-38. EDN: WWMHPB.
- Добровольский С. Г. Изменения естественных параметров экстремальных гидрологических явлений в России и в мире и вызванных ими ущербов: наводнения и засухи / С. Г. Добровольский, М. Н. Истомина, В. Ю. Пасечкина // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 183-193. EDN: OSAGKB.
- Основные регионы засух и наводнений мира: природные параметры, характеристики ущербов, особенности динамики, идентификация с помощью индекса SPEI / С. Г. Добровольский, М. Н. Истомина, И. П. Лебедева, И. В. Соломонова // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: Сб. научных трудов конференции, Нижний Новгород, 8–14 сентября 2019 года. Нижний Новгород: Студия Ф1, 2019. С. 46-51. EDN: TVOCKF.
- Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620292 Российской Федерации. База данных по наводнениям мира (с детализацией по России) : № 2014621948: заявл. 29.12.2014: опубл. 17.02.2015 / М. Н. Истомина, С. Г. Добровольский; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук. EDN: LHKVUN.
- Добровольский С. Г. Глобальная гидрология: процессы и прогнозы / Институт водных проблем РАН; Российский фонд фундаментальных исследований. М.: ГЕОС, 2017. 526 с. ISBN 978-5-89118-558-6. EDN: VWPWSK.
- Pierre Javelle, Taha B.M.J. Ouarda, Michel Lang, Bernard Bobée, Gilles Galéa, Jean-Michel Grésillon, Development of regional flood-duration–frequency curves based on the index-flood method, Journal of Hydrology, Volume 258, Issues 1–4, 2002, Pages 249-259, ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00577-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00577-7).
- Juraj M. Cunderlik, Taha B.M.J. Ouarda, Regional flood-duration–frequency modeling in the changing environment, Journal of Hydrology, Volume 318, Issues 1–4, 2006, Pages 276-291, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.020>.
- Svenja Fischer, Andreas H. Schumann, Regionalisation of flood frequencies based on flood type-specific mixture distributions, Journal of Hydrology X, Volume 13, 2021, 100107, ISSN 2589-9155, <https://doi.org/10.1016/j.hydrox.2021.100107>.
- Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: учебник в 3-х ч.: ч. 2. Инженерное обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций: в 3-х кн.: кн. 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / В.А. Акатьев, С.С. Волков, В.С. Гаваза и др.; / под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: ЗАО Фирма «Папирус», 1998. 176 с.
- Методика комплексной оценки индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. М.: МЧС России, 2000.

12. О методе прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях в целях оценки риска чрезвычайных ситуаций / А. Н. Щеглов, К. Ю. Жалнин, И. Ю. Олтян, Е. В. Арефьева, М. В. Болгов, А. С. Котосонов, Ю. К. Часнавичюс, Е. Б. Сергеев, Н. Н. Олтян // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 3 (73). С. 78-83. EDN: MXDHWZ.
13. Анализ нормативных и методических основ оценки ущерба объектам капитального строительства от затоплений в России: проблемы и перспективы / А. Н. Щеглов, Ю. К. Часнавичюс, Д. С. Ковалева, А. С. Котосонов // Технологии гражданской безопасности. 2023. Т. 20. № 2 (76). С. 87-94. EDN: USVAJF.
14. СП 33-101-2003. Определение основных гидрологических характеристик. М: Госстрой России; ФГУП ЦПП, 2004.
15. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2019 году» // URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/4602?ysclid=ij87ia2orw500136804> (дата обращения: 23.06.2023).
16. Estimates of Peak Flow of the Iya River during the Extreme Flood in 2019 / M. V. Bolgov, E. A. Korobkina, N. V. Osipova, I. A. Filippova // Russian Meteorology and Hydrology. – 2020. Vol. 45, No. 11. P. 783-790. DOI: 10.3103/S1068373920110059. EDN: MVKNJL.
17. Роскосмос. Геоналитический отчет по развитию паводка в Иркутской области // URL: <https://www.roskosmos.ru/26525/> (дата обращения: 22.08.2023).
18. Сайт ЕСИМО. URL: http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2665 (дата обращения: 14.07.2023).
19. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ВО). Состояние поверхностных вод. Форма 14. Уровни воды рек, ручьев, каналов // URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=716> (дата обращения: 15.09.2023).
20. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. СПб.: ГГИ, 2005.
21. Кокорев А.В. Руководство пользователя Программные средства автоматизации инженерных гидрологических расчетов Hydro Stat Calc. / А.В. Кокорев, А.В. Рождественский, А.Г. Лобанова. СПб.: ФБГУ «Государственный гидрологический институт», 2015.
22. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612300 Российская Федерация. Программа «HydroLevel»: № 2023611157: заявл. 25.01.2023: опубл. 01.02.2023 / Е. Б. Сергеев; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России». EDN: ETPLYR.
23. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021621597 Российская Федерация. База данных «DataHydrologSQL»: № 2021621259: заявл. 17.06.2021: опубл. 23.07.2021 / Е. Б. Сергеев; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России». EDN: ALZBBL.
24. Тенденция роста катастрофических наводнений на территории Российской Федерации / Г. М. Нигметов, Ю. А. Филатов, В. И. Пчелкин, Н. С. Юзбеков // Технологии гражданской безопасности. 2003. № 1–2. С. 37–44. EDN: KVMUWN.
25. Масштабы и опасность наводнений в регионах России / В. В. Разумов, С. А. Качанов, Н. В. Разумова и др. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2018. 364 с. EDN: XQQAJV.
26. Постановление Правительства Иркутской области от 17.07.2019 № 558-пп «Об установлении описания границ затопленных (затопляемых) зон чрезвычайной ситуации, сложившейся в результате паводка, вызванного сильными дождями, прошедшими в июне 2019 года на территории Иркутской области».
27. Карта бассейновых округов Российской Федерации // URL: <https://ozera.info/fishing/fisher/code-practice/karta-bassejnovyh-okrugov-rossijskoj-federacii> (дата обращения: 14.07.2023).
28. Методика гидрографического районирования территории Российской Федерации, утв. приказом Минприроды от 25.04.2007 № 112.

Сведения об авторах

Олтян Ирина Юрьевна: к. т. н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), учёный секретарь.
Москва, Россия.
SPIN-код: 3476-5213.

Арефьева Елена Валентиновна: д. т. н., доц., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), гл. н. с. науч.-исслед. центра, Москва; Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ), проф. каф. промышл. и экологич. безопасности, Казань.
Москва; Казань, Россия.
SPIN-код: 2738-6323.

Болгов Михаил Васильевич: д. т. н., Институт водных проблем РАН, зав. лабораторией.
Москва, Россия.
SPIN-код: 2425-4293.

Жданенко Ирина Васильевна: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. отдела.
Москва, Россия.
SPIN-код: 7747-6337.

Сергеев Евгений Борисович: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), н. с. науч.-исслед. отдела.
Москва, Россия.
SPIN-код: 5555-1028.

Котосонов Александр Сергеевич: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), нач. науч.-исслед. центра.
Москва, Россия.
SPIN-код: 2362-3700.

Information about authors

Oltyan Irina Yu.: PhD (Technical Sc.), VNIИ GOChS (FC), Scientific Secretary.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 3476-5213.

Arefyeva Elena V.: ScD (Technical Sc.), Associate Professor, VNIИ GOChS (FC), Chief Researcher, Research Center, Moscow; Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Professor of the Department of Industrial and Environmental Safety, Kazan.
Moscow; Kazan, Russia.
SPIN-scientific: 2738-6323.

Bolgov Mikhail V.: ScD (Technical Sc.), Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Head of Laboratory.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 2425-4293.

Zhdanenko Irina V.: VNIИ GOChS (FC), Senior Researcher, Research Department.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 7747-6337.

Sergeev Evgeny B.: VNIИ GOChS (FC), Researcher, Research Department.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 5555-1028.

Kotosonov Aleksander S.: VNIИ GOChS (FC), Head of Research Center.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 2362-3700.