

О результатах применения метода прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях в целях оценки риска чрезвычайных ситуаций

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.1.75

© Технологии гражданской безопасности, 2023

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

Аннотация

В статье представлены результаты использования оригинального метода прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях в целях оценки риска чрезвычайных ситуаций, таких как уровень воды заданной обеспеченности, длительность периода затопления, площадь затопления. Основан на оригинальном подходе, в основе которого лежат использование цифровой модели рельефа, построение гидрографической сети в виде графа, характеризующего направление потока воды. Статья представляет собой третью часть из серии статей по выполнению моделирования наводнений в условиях наличия, недостаточности и отсутствия данных гидрометрических наблюдений.

Разработанный оригинальный метод может быть использован при прогнозировании последствий чрезвычайных ситуаций, источниками которых являются наводнения, планировании защитных мероприятий, страховании природных рисков, определении границ экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении чрезвычайных ситуаций природного характера, связанных с опасными гидрологическими явлениями.

Также оригинальный метод может быть использован при разработке единых документов территориального планирования и градостроительного зонирования поселения, городского округа.

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; наводнение; характеристики наводнений; цифровая модель рельефа; виртуальный гидропост; ориентированный граф; потенциальный территориальный риск ЧС.

On the Application Results of the Catastrophic Floods Parameters Forecasting Method in Unexplored Areas for Assessing the Risk of Emergencies

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.1.75

© Civil Security Technology, 2023

A. Shcheglov, I. Oltyan, E. Arefieva, M. Bolgov, A. Kotosonov, Yu. Chiasnavichyus, E. Sergeev, N. Oltyan, I. Zhdanenko

Abstract

The article presents the results of using the original method of forecasting parameters of catastrophic floods in unexplored territories for assessing the risk of emergency situations, such as the water level of a given security, duration of the flooding period, the flooding area based on the original approach of using digital relief model, construction of hydrographic network in the form of a graph characterizing the direction of water flow. The article is the third part of

a series of articles on the implementation of flood modeling in the conditions of insufficiency and absence of hydro-metric observation data.

The developed original method can be used in predicting flood caused emergencies, planning protective measures, natural risk insurance, determining the boundaries of the population emergency notification about the threat of occurrence or the occurrence of natural emergencies connected with dangerous hydrological phenomena.

Also, the original method can be used in the development of unified documents of territorial planning and urban zoning of a settlement, urban district.

The work was carried out within the framework of the contract dated 07.10.0221 No. /D-0172/2021 for the implementation of research "Development of flood modeling methodology". The customer is JSC "Russian National Re-insurance Company".

Key words: emergency situation; flood; flood characteristics; digital relief model; virtual hydropost; oriented graph; potential territorial emergency risk.

06.12.2022

Введение

Эта статья является третьей в цикле статей, посвященных новому подходу к оценке параметров катастрофических наводнений на слабоизученных и неизученных в гидрологическом аспекте территориях.

В первой статье представлено описание метода прогнозирования параметров наводнений в целях оценки риска ЧС [1], основанного на оригинальном подходе с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР) и рекомендованных в соответствующих нормативных документах, расчетных зависимостях и гидрологических параметрах. Вторая статья демонстрирует результаты расчетов гидрологических параметров для оценки риска чрезвычайных ситуаций на неизученных территориях на основе вероятностного моделирования катастрофических наводнений [2].

Рассмотренный в этих статьях метод прогнозирования параметров наводнений предназначен для территорий с преобладанием дождевых паводков. При этом потенциальный территориальный риск чрезвычайных ситуаций¹, источниками которых являются катастрофические наводнения, определяется совокупностью следующих параметров [3]:

- максимальный подъем уровня воды (глубина затопления);
- продолжительность затопления;
- зона возможного затопления.

В условиях недостаточности исходных данных основной гидрологической характеристикой, определяющей значения перечисленных выше параметров, является максимальный расход дождевого стока.

Для прогнозирования подъема уровня воды различной обеспеченности, определения продолжительности затопления и зон затопления при планировании инженерной защиты территорий в настоящее время

используются свод правил [4] и методические рекомендации по его использованию [5, 6].

Во второй статье цикла [2] авторами сформулированы гипотезы о возможности использования ЦМР² и ориентированного графа, описывающего русловую сеть [7], для расчета некоторых гидрологических параметров, учитываемых при прогнозировании катастрофических наводнений, а также представлены результаты расчета этих гидрологических параметров.

Вместе с тем надо отметить, что развитие моделей формирования речного стока является одним из важнейших направлений гидрологии суши [8]. В физико-математической модели формирования речного стока ЭКОМАГ [9] применительно к масштабу крупного речного водосбора моделирование гидрологических процессов выполняется для четырех уровней для поверхностного слоя почвы, подстилающего его более глубокого слоя, емкости грунтовых вод и емкости в зоне формирования поверхностного стока (рис. 1а) [9]. Схема включает описание поверхностного и подземного стоков воды на водосборе, движения воды по речной сети [9]. Авторами статьи использован подход, согласно которому моделирование гидрологического

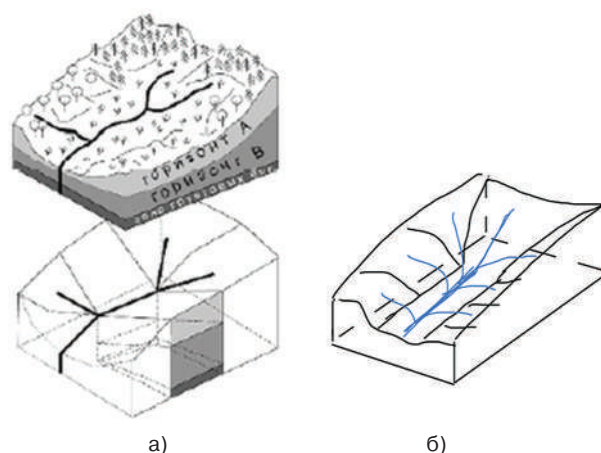


Рис. 1. Схематизация модели формирования речного стока: а) модель ЭКОМАГ [9], б) использованная схема формирования речного стока

¹ Потенциальный территориальный риск чрезвычайной ситуации — количественный показатель риска чрезвычайной ситуации, определяемый как вероятность возникновения за год на рассматриваемой территории всей совокупности поражающих факторов источников возможной чрезвычайной ситуации с уровнем, который может привести к гибели людей и причинению материального ущерба [ГОСТ Р 55059].

² ЦМР — цифровая модель рельефа.

процесса выполняется для одного уровня — только для зоны формирования поверхностного стока, что допустимо для цели зонирования территории субъекта Российской Федерации по критерию потенциального территориального риска чрезвычайной ситуации, обусловленной наводнением природного характера.

Общепринятым подходом к оценке риска является разработка карт опасности, подверженности и воздействия, в которых очерчиваются зоны высокого, умеренного и низкого риска. Эти карты важны для оценки приемлемости определенного риска. Карты также помогают расставить приоритеты рисков и согласовать меры по снижению рисков [10].

В рамках этой работы на основании результатов применения метода прогнозирования параметров катастрофических наводнений [1,2] получены зоны затопления различной обеспеченности на неизученных в гидрологическом плане, но заселенных территориях Ленского бассейнового округа, гидрографической единицы 18.03.01 — Лена до впадения Витима (территория Иркутской области).

Исходные данные для модельных гидрологических расчетов

В качестве исходных данных для прогнозирования параметров катастрофических наводнений с целью зонирования территории субъекта Российской Федерации по критерию потенциального территориального риска чрезвычайной ситуации с помощью разработанного и представленного метода в работах [1, 2] используется технология, включающая:

- цифровую модель рельефа;
- фактические и виртуальные гидропосты (ВГП);
- известные гидрологические характеристики по результатам наблюдений на фактических гидропостах или региональные характеристики, представленные в гидрологических и иных справочниках;
- ориентированный граф (орграф) $G = (V, E)$, описывающий русловую сеть.

Моделирование глубины затопления и продолжительности затопления

Прогнозируемая глубина затопления в месте расположения виртуального гидропоста определяется на основе рассчитанного максимального расхода воды заданной обеспеченности и водного (поперечного) сечения.

Поперечное сечение русла и долины реки в месте расположения виртуального гидропоста строится по цифровой модели рельефа путем построения виртуальной плоскости перпендикулярно руслу реки и нахождения координат пересечения виртуальной плоскости с ЦМР (рис. 2).

Глубина затопления (*waterdepth*) для заданной обеспеченности (*frequency*) определяется по графику кривой расходов, заданной в общем виде:

$$h = f(Q), \quad (1)$$

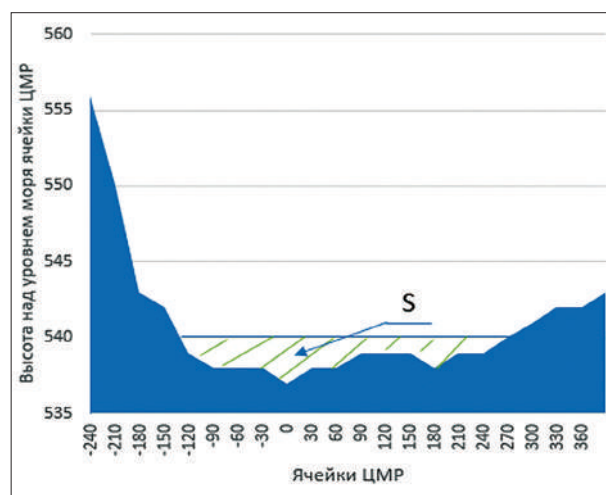


Рис. 2. Пример построения поперечного сечения русла и долины реки по ЦМР (источник: получено авторами)

где:

Q — расход, $\text{м}^3/\text{с}$;

h — глубина затопления, м.

Для каждого поперечного сечения методом итераций строятся кривые расходов заданной обеспеченности, иллюстрирующие зависимость между расходами и уровнями воды для данного сечения водотока.

Далее в итерационном процессе до выполнения условия $Q \geq Q_{pmaxi}$ с использованием поперечного профиля русла реки, где Q_{pmaxi} — максимальный расход заданной обеспеченности для i -го ВГП, определяемый по формуле (1) [1]:

моделируется подъем уровня воды на 0,1 м;

рассчитывается площадь водного сечения S_i и средняя глубина h_i ;

определяется скорость течения V_i по формуле Шези:

$$v_i = C \times \sqrt{h_i \times I}, \quad (2)$$

где C — коэффициент Шези, определяемый по формуле Маннинга [12]:

$$C = \frac{h_i^{1/6}}{\eta}, \quad (3)$$

где:

I — уклон водной поверхности;

η — коэффициент шероховатости естественных русел и пойм, который задается по М. Ф. Срибному [11, приложение 33, таблица 1] (при расчетах далее принимается усредненное значение коэффициента шероховатости, равный 0,04).

Определяется расход по формуле:

$$Q_i = S_i \times v_i, \quad (4)$$

и строится график функции (1) (рис. 3);

по графику функции (1) (рис. 3) находится искомая глубина затопления *waterdepth*, м, для $Q = Q_{pmaxi}$.

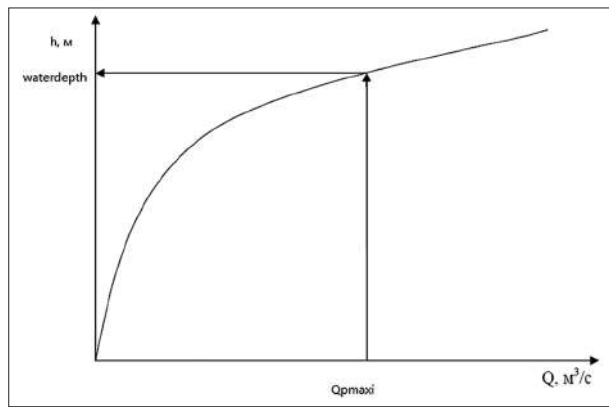


Рис. 3. График функции $h = f(Q)$

Продолжительность подъема уровня воды рассчитывается по формуле [12, формула 7.37]:

$$t_p = 0,0116 \times 24 \times \lambda \times h_p / q_p, \text{ час.}, \quad (5)$$

где:

λ — коэффициент формы гидрографа, соответствующий определенной величине коэффициента несимметричности гидрографа K_s , определяемый по [12, приложение Б, таблица Б.10], б/р. Коэффициент несимметричности гидрографа K_s определяется по рекам-моделям [13];

q_p — модуль максимального расчетного расхода воды, определяемый по формуле [4, формула 7.15]:

$$q_p = \frac{Q_{pmaxi}}{S_{basin_i}}, \text{ м}^3/\text{с} \times \text{км}^2, \quad (6)$$

где h_p — расчетный слой суммарного стока половодья, мм. Определяется по карте [4, приложение 10]. Точка, с которой снимается значение слоя суммарного стока, определяется как центр водосбора для ВГП.

Длительность периода затопления определяется по формуле:

$$waterlvtime = t_p \times (1 + K_s), \quad (7)$$

где *waterlvtime* отражает количество часов превышения уровня воды над естественным уровнем воды, определяемым по ЦМР.

В таблице приведены результаты расчета глубины и продолжительности затопления для виртуальных гидропостов, рассмотренных в работе [2] (рис. 4).

Таблица

Результаты расчетов максимального подъема уровня воды (глубины затопления) и продолжительности затопления для виртуальных ГП из работы [2]

Номер ГП	Обеспеченность ³	Наивысший уровень воды, м (БС)	Глубина затопления, м	Длительность периода затопления, ч
100040	0,5	521,01	4,01	146,21
	1	521,01	4,01	146,21
	5	520,66	3,66	767,82
	10	520,47	3,47	952,26
	20	520,3	3,3	1185,42
100041	0,5	517,94	3,94	315,51
	1	517,62	3,62	393,07
	5	517,17	3,17	560,94
	10	516,92	2,92	705,27
	20	516,71	2,71	875,02
100414	0,5	530,33	4,33	227,41
	1	529,87	3,87	285,12
	5	529,36	3,36	405,36
	10	529,08	3,08	508,1
	20	528,84	2,84	632,34
100572	0,5	549	7,00	109,73
	1	549	7,00	109,73
	5	549	7,00	109,73
	10	548,63	6,63	1145,86
	20	547,97	5,97	1424,6
100619	0,5	544,13	6,13	516,76
	1	543,52	5,52	648,67



Рис. 4. Расположение виртуальных ГП из таблицы

³ Обеспеченность гидрологической характеристики: вероятность того, что рассматриваемое значение гидрологической характеристики может быть превышено среди совокупности всех возможных ее значений [4].

Номер ГП	Обеспеченность ³	Наивысший уровень воды, м (БС)	Глубина затопления, м	Длительность периода затопления, ч
	5	542,7	4,7	924,77
	10	542,29	4,29	1154,17
	20	541,93	3,93	1436,9
100620	0,5	552,39	4,39	997,96
	1	552,1	4,1	1248,28
	5	551,84	3,84	1786,26
	10	551,58	3,58	2227,51
	20	551,36	3,36	2753,98
100672	0,5	536,25	3,25	233,47
	1	535,93	2,93	291,38
	5	535,49	2,49	415,53
	10	535,25	2,25	521,37
	20	535,05	2,05	645,46
100707	0,5	527,55	2,55	132,78
	1	527,37	2,37	166,47
	5	527,13	2,13	237,47
	10	527,01	2,01	292,76
	20	526,97	1,97	370,33
100707	0,5	527,55	2,55	132,78
	1	527,37	2,37	166,47
	5	527,13	2,13	237,47
	10	527,01	2,01	292,76
	20	526,97	1,97	370,33
100796	0,5	574,22	0,22	12,48
	1	574,19	0,19	16,21
	5	574,16	0,16	21,89
	10	574,14	0,14	27,68
	20	574,12	0,12	36,22

Моделирование зоны вероятного затопления

Построение зоны вероятного затопления с использованием ориентированного графа (орграф) $G = (V, E)$ (модели водотока) (рис. 5) выполнялось по цифровой модели рельефа методом превышений [2]. Использовалась открытая библиотека `pysheds`⁴.

Для каждого ВГП моделировалась зона вероятного затопления. Для этого в орграфе, описывающем русловую сеть, отмечался узел, соответствующий ВГП, для которого моделировалась зона вероятного затопления (начальный узел). Для небольших по протяженности участков реки (длиной Sl не более 5 км) затопление моделировалось путем переноса расчетного значения глубины затопления (`waterdepth`) вверх и вниз по модели водотока с учетом уклона водной поверхности [12].

Для этого для заданного расстояния Sl находилось максимальное количество узлов орграфа (модели

водотока) n , на которое возможно распространение затопления вверх и вниз по течению водотока:

$$n = \frac{Sl}{step}, \text{ ед.}, \quad (8)$$

где:

n — количество узлов орграфа, на которое возможно распространение затопления;

$step$ — средняя длина ребра орграфа, м, определяется средним размером ячейки ЦМР.

Далее находится узел, отстающий от начального на n узлов вниз по течению водотока, он назначается начальным узлом. Начиная с этого узла, производилась симуляция затопления вверх и вниз по гидрографической сети.

Ребра орграфа ориентировались в направлении «от корня» (от начального узла); рассматривались все ребра орграфа, инцидентные начальному узлу [14]. Обход орграфа для нахождения всех «затопленных» узлов выполняется «в ширину» (англ. `breadth-firstsearch`, BFS). Алгоритм поиска «в ширину» систематически обходит все ребра орграфа G на расстоянии i от начального узла, потом на расстоянии $i + 1$ и т. д. до тех пор, пока на некотором расстоянии $2 \times n$ от начального узла все узлы не примут значение 1 («затоплены»).

В результате вычисления создается бинарный растр, в котором значение «1» соответствует затопленной ячейке, а «0» — незатопленной. Бинарный растр конвертируется в векторный формат, который может быть использован в геоинформационных системах. На рис. 6 представлены зоны вероятного затопления для ВГП, приведенных в таблице.

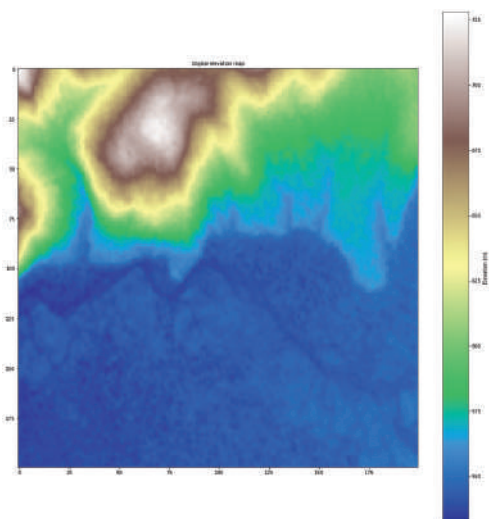
Стоит отметить, что отображенные на рис. 6, 7 село Бирюлька, деревня Малая Тарель, деревня Подкаменка, попадающие в зону вероятного затопления обеспеченностью 0,5%, входят в границы зоны экстренного оповещения населения, на территории которой возможно возникновение чрезвычайных ситуаций природного характера, связанных с опасными гидрологическими явлениями (паводками), определенной постановлением Правительства Иркутской области от 5 ноября 2013 г. № 501-ПП⁵.

Обсуждение результатов

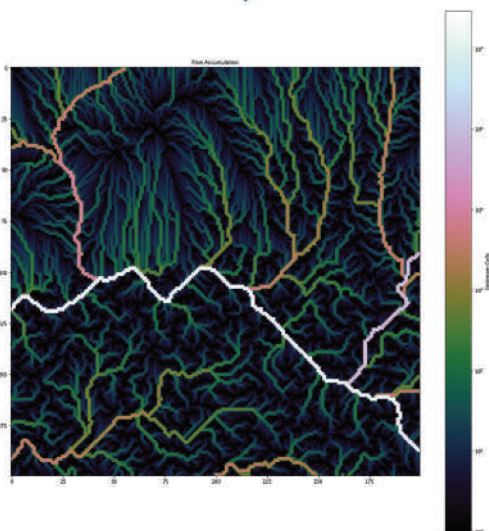
Всем ЦМР присуща определенная степень погрешности, которая распространяется на последующие модели и анализы [15], поэтому более или менее точное представление формы реки в плане имеет решающее значение для моделирования параметров наводнения. ЦМР часто не позволяют точно отобразить план реки, поскольку они показывают местность такой, какой она была во время сбора данных. Но водные объекты (то есть реки) со временем меняют свои размеры и форму. Формы речных планов более динамичны в ненарушенных речных системах (в основном расположенных в регионах с низкой

⁴ Simple and fast watershed delineation in python. <https://github.com/mbartosh/pysheds>.

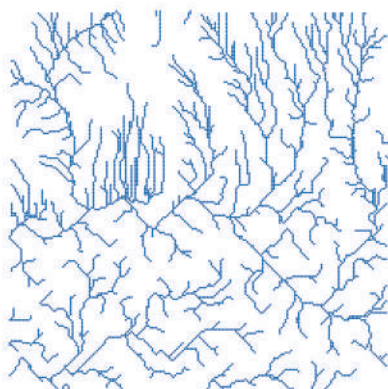
⁵ Постановление Правительства Иркутской области от 5 ноября 2013 года № 501-пп «Об определении границ зон экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении чрезвычайных ситуаций на территории Иркутской области».



Цифровая модель рельефа — SRTM



Растр аккумуляции стока



Орграф направлений стока (модель водостока) $G = (V, E)$;
 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}; v_i \rightarrow v_j \in E$

Рис. 5. Порядок построения модели водотока с использованием ЦМР и ориентированного графа

степенью изученности территории), где дистанционное зондирование является наиболее удобным источником данных. Для многих из таких регионов Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) является наилучшим доступным источником ЦМР [16].

Матрицы высот SRTM используются для картографирования наводнений, происшедших за 15 лет. Так, в работе [17] получена карта зональности систематических ошибок на матрице высот SRTM в пределах территории Северной Евразии, при этом шкала систематических ошибок составляет от -2 до $+6$ м. Отмечается, что «применение матрицы высот SRTM достаточно эффективно при расчетах и картографировании границы зоны паводкового затопления и глубин воды в изобатах при уровнях воды в реке любой заданной обеспеченности на открытых незастроенных территориях поймы, не покрытых густой древесной и кустарниковой растительностью» [17]. Также в работе [18] отмечено, что на территориях без обильной растительности затопление моделируется более корректно. Действительно, при формировании зон затопления при наличии растительности в пойме для малых рек (площадь водосбора — менее 10 кв. км), а также для извилистых (меандрирующих) русел алгоритм построения ориентированного графа с информацией о стоке, описывающего русловую сеть, не определяет русло реки (рис. 8). Вместе с тем при расположении виртуального гидропоста вблизи русла реки, но не в самом русле, алгоритм построения ориентированного графа, описывающего русловую сеть, «притягивает» такой ВПП к руслу реки, и зоны затопления формируются относительно русла реки (рис. 9).

При необходимости проведения более точных расчетов параметров затопления необходимо производить учет и исправление в матрице высот SRTM систематических и случайных ошибок путем совмещения матрицы высот SRTM с горизонталями и высотными отметками пунктов опорных геодезических сетей крупномасштабных топографических карт [17].

Вместе с тем разработанный метод формирования зон затопления и прогнозирования параметров наводнений целесообразно применять для определения зон, наиболее подверженных катастрофическим затоплениям, а впоследствии проводить детальные геодезические исследования и инженерные изыскания на выявленных территориях, строить ортофотопланы для данной местности с целью сведения до минимума погрешности расчета.

Выводы

В цикле статей, посвященных новому подходу к оценке параметров катастрофических наводнений на слабоизученных и неизученных в гидрологическом аспекте территориях, представлен оригинальный метод, основанный на использовании цифровой модели рельефа, построении гидрографической сети в виде ориентированного графа, характеризующего направление потока воды, а также результаты его



Рис. 6. Зоны вероятного затопления обеспеченностью 0,5% для виртуальных ГП, приведенных в таблице

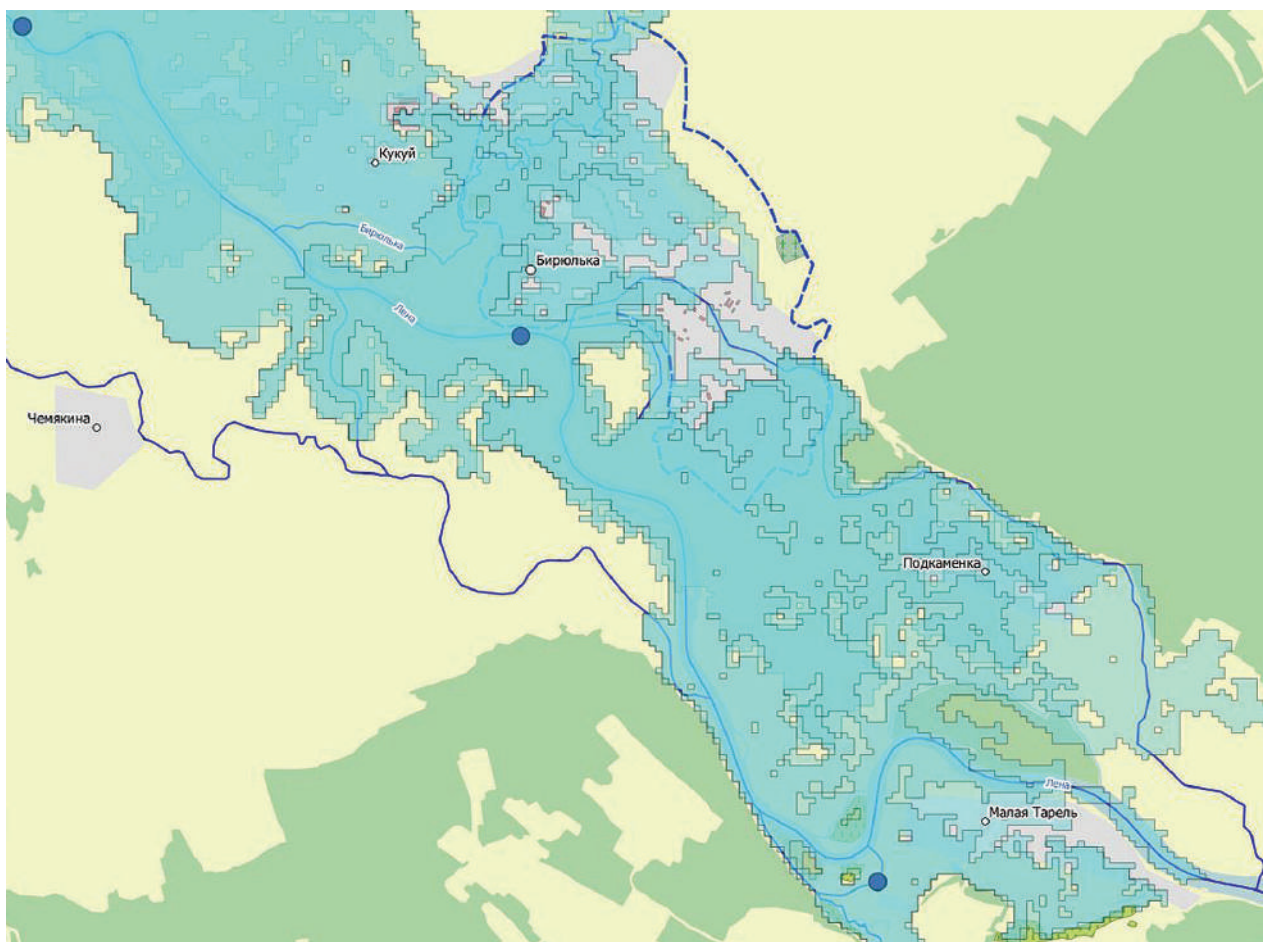


Рис. 7. Зоны вероятного затопления обеспеченностью 0,5% для виртуальных ГП, размещенных в зоне экстренного оповещения населения

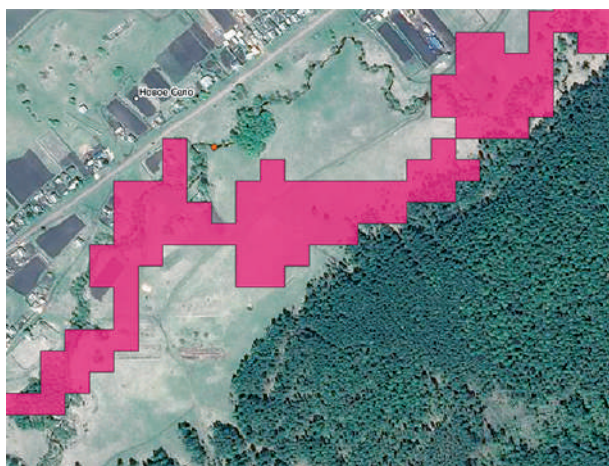


Рис. 8. Ошибочное определение алгоритмом русла реки при наличии растительности

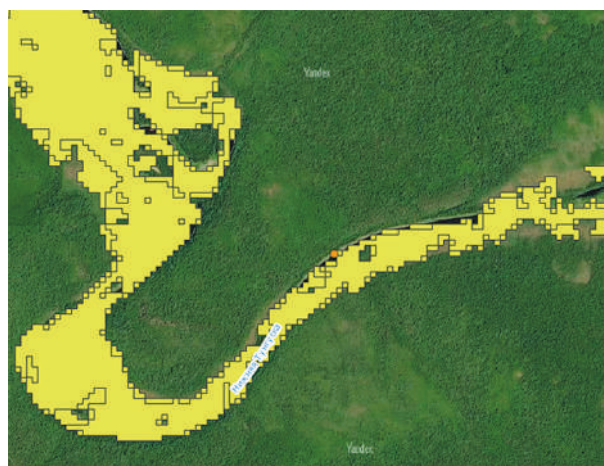


Рис. 9. Формирование зоны затопления для ВГП, расположенного не в русле реки

применения для пилотного субъекта — Иркутской области.

Разработанный оригинальный метод может быть использован при прогнозировании последствий чрезвычайных ситуаций, источниками которых являются наводнения, планировании защитных мероприятий, определении границ экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении чрезвычайных ситуаций природного характера, связанных с опасными гидрологическими явлениями.

Также оригинальный метод может быть использован при разработке единых документов территориально-градостроительного зонирования

поселения, городского округа⁶, в который должна быть включена информация о территориях, подверженных риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера⁷.

В целом широкое применение в деятельности органов местного самоуправления, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, проектных, страховых и научных организаций представленного оригинального метода позволит снизить риск чрезвычайных ситуаций, перейти от практики реагирования на предупреждение ЧС, обеспечить достижение цели 11 Устойчивого развития⁸ — Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов.

Литература

1. О методе прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях в целях оценки риска чрезвычайных ситуаций / А. Н. Щеглов, К. Ю. Жалнин, И. Ю. Олтян и др. // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 3(73). С. 78–83. EDN: MXDHWZ.
2. Результаты расчетов гидрологических параметров для оценки риска чрезвычайных ситуаций на неизученных территориях на основе моделирования катастрофических наводнений / А. Н. Щеглов, К. Ю. Жалнин, Г. П. Радионов и др. // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 4(74). С. 11–19. EDN: MLTITI.
3. Методика комплексной оценки индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Аттестована Межведомственной комиссией по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (МВК), протокол от 29.10.2002. № 4. М.: МЧС России, 2002.
4. СП 33-101-2003. Определение основных гидрологических характеристик.
5. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. Нижний Новгород: «Вектор-ТиС», 2007. 134 с.
6. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. СПб.: ГГИ; Нестор-История, 2009. 190 с.
7. Чясновичус Ю. К., Олтян И. Ю., Олтян Н. Н. Алгоритм построения графа, описывающего гидрологическую сеть. Свидетельство о регистрации секрета производства (ноу-хау) № ГЧ-0077. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022.
8. Борщ С. В. Эффективность моделирования и прогнозирования речного стока / С. В. Борщ, Ю. А. Симонов, А. В. Христофоров // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 1(375). С. 176–189. DOI 10.37162/2618-9631-2020-1-176-189. EDN: ZXFTXI.
9. Мотовилов Ю. Г. Модели формирования стока в задачах гидрологии речных бассейнов / Ю. Г. Мотовилов, А. Н. Гельфан. М.: РАН, 2018. 300 с. DOI 10.31857/S9785907036222000001. EDN: VWLMHQ.
10. Onencan A.M., Liu L.E., Van de Walle, B. Design for Societal Resilience: The Risk Evaluation Diversity-Aiding Approach (RED-A) Sustainability 2020, 12, 5461; doi:10.3390/su12135461.
11. Пособие к СНиП 2.05-84 «Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки» (ПМП-91).
12. СН 435-72 «Указания по определению расчетных гидрологических характеристик».
13. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 64 с.
14. Буркатовская Ю. Б. Теория графов. Ч.1: Учеб. пособ. Томск: Изд-во Томского политехнич. университета, 2014. С. 154–158 [Электронный ресурс] // Корпоративный портал ТПУ. URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TRACEY/Courses/English/Tab/Textbook_Graph_2013.pdf (дата обращения: 8.11.2022).
15. Joseph M. Wheaton. "Error modeling of DEMs from topographic surveys of rivers using fuzzy inference systems" Water Resources Research Vol. 52 Iss. 2 (2016) p. 1176–1193. Available at: http://works.bepress.com/joseph_wheaton/160/.
16. Md Nowfel Mahmud Bhuyian Estimating Error in SRTM Derived Planform of a River in Data-poor Region and Subsequent Impact on Inundation Modeling. Available at: https://www.researchgate.net/publication/322234821_Estimating_Error_in_SRTM_Derived_Planform_of_a_River_in_Data-poor_Region_and_Subsequent_Impact_on_Inundation_Modeling.

⁶ Статья 28.1 Градостроительного кодекса Российской Федерации.

⁷ Приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 26.05.2011 г.№ 244 «Об утверждении Методических рекомендаций по разработке проектов генеральных планов поселений и городских округов».

⁸ Цели устойчивого развития [электронный ресурс] // URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cities/> (дата обращения: 15.11.2022).

17. Орлянкин В. Н. Использование матриц высот SRTM в предварительных расчетах и картографировании глубин потенциального паводкового затопления речных пойм / В. Н. Орлянкин, А. Р. Алешина // Исследование Земли из космоса. 2019. № 5. С. 72–81. DOI 10.31857/S0205–96142019572–81. EDN: FXCHOJ.
18. Чумаченко А. Н. Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) / А. Н. Чумаченко, Д. П. Хворостухин, В. А. Морозова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 18, № 2. С. 104–109. DOI 10.18500/1819-7663-2018-18-2-104-109. EDN: OTINYV.

Сведения об авторах

Щеглов Александр Николаевич: к. физ.-мат. н., Российская национальная перестраховочная компания, зам. пред. правления.
Москва, Россия.

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

Арефьева Елена Валентиновна: д. т. н., доц., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), гл. н. с. науч.-исслед. центра.
Москва, Россия.
SPIN-код: 2738-6323.

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

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

Чяснавичюс Юлюс Кястутович: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. отдела.
Москва, Россия.
SPIN-код: 8705-4446.

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

Олтян Никита Николаевич: магистрант, ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», факультет информационных технологий и анализа больших данных.
Москва, Россия.
SPIN-код: 9730-0962.

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

Information about authors

Shcheglov Alexander N.: PhD (Physics and Mathematics Sc.), Russian National Reinsurance Company, Deputy Chairman of the Board.
Moscow, Russia.

Oltyan Irina Yu.: PhD (Technical Sc.), All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Scientific Secretary of the Institute.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 3476-5213.

Arefieva Elena V.: ScD (Technical Sc.), Associate Professor, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Chief researcher, Research Center.
Moscow, 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.

Kotosonov Aleksander S.: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Head of Research Center.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 2362-3700.

Chiasnavichius Julius K.: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Senior Researcher, Research Department.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 8705-4446.

Sergeev Evgeny B.: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Researcher, Research Department.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 5555-1028.

Oltyan Nikita N.: Magistrate Student, Financial University under the Government of the Russian Federation, Faculty of Information Technology and Big Data Analysis.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 9730-0962.

Zhdanenko Irina V.: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Senior Researcher, Research Department.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 7747-6337.