

УДК 614.8

О методе прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях в целях оценки риска чрезвычайных ситуаций

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73

© Технологии гражданской безопасности, 2022

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

Аннотация

Метод прогнозирования параметров катастрофических наводнений, таких как уровень воды заданной обеспеченности, длительность периода затопления, площадь затопления, для неизученных и слабоизученных территорий, основан на оригинальном подходе, в основе которого лежит использование цифровой модели рельефа и построение гидрографической сети в виде графа, характеризующего направление потока воды. Гидрологические характеристики определяются для виртуальных гидропостов в соответствии с расчетными зависимостями, приведенными в методических рекомендациях по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений, утвержденных установленным порядком. Статья представляет собой первую часть из серии статей по выполнению оценки риска чрезвычайных ситуаций, источниками которых являются наводнения, в том числе оценки экономического ущерба от воздействия чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями катастрофического характера, на объекты производственной и социальной инфраструктуры, в условиях наличия, недостаточности данных гидрометрических наблюдений.

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: наводнение; параметры наводнений; глубина затопления; максимальный подъем уровня воды; продолжительность затопления; максимальный расход; виртуальный гидропост; цифровая модель рельефа; матрица накопления стока; граф стока.

On the Method of Forecasting Catastrophic Floods Parameters in Unexplored Territories to Assess the Risk of Emergencies

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.3.73

© Civil Security Technology, 2022

A. Shcheglov, K. Zhalnin, I. Oltyan, E. Arefieva, M. Bolgov, Ju. Chiasnavichius, E. Sergeev, N. Oltyan, A. Kotosonov

Abstract

Method of forecasting catastrophic floods parameters, such as the water level of a given security, flooding period duration, area of flooding for unexplored and poorly studied territories is based on the original approach of the digital relief model use and construction of hydrographic network in the form of a graph characterizing the direction of water flow. Hydrological characteristics are determined for virtual gauging stations in accordance with the calculated dependencies given in the methodological recommendations for determining the calculated hydrological characteristics in the absence of observational data approved in the established order. This article is the first part of a series of articles on the assessment of the emergency situations risk, the sources of which are floods, including economic damage assessment from the impact of emergencies caused by the catastrophic floods on industrial and social infrastructure facilities, in conditions of availability, insufficiency of hydrometric observations.

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 Re-insurance Company”.

Key words: flood; flood parameters; depth of flooding; maximum water level rise; duration of flooding; maximum flow; virtual hydropost; digital relief model; runoff accumulation matrix; flow graph.

31.08.2022

Введение

В выступлении, приуроченном к Всемирному дню защиты от бедствий (13 октября 2020 г.), Мами Мизутори, Специальный представитель Генерального Секретаря ООН по защите от бедствий, отметила, что «самая страшная катастрофа, которая могла произойти, еще не произошла» [1], и к ней надо готовиться. Одним из принципов подготовки к будущим бедствиям (ЧС) является «идентификация, понимание и использование сценариев существующих и будущих рисков» [2].

По катастрофичности опасные гидрологические явления стоят на первом месте наряду с сильным дождем (снегопадом) среди всех природных ЧС, характерных для Российской Федерации [3].

При определении сценариев будущих бедствий и оценки рисков ЧС, источниками которых являются опасные гидрологические явления [4], необходимо учитывать:

- изменение географии, площадной повторяемости, интенсивности опасностей, в том числе с учетом климатических изменений [5], на долгосрочную перспективу (повторяемостью 1 раз в 100–200 лет);

- тенденция урбанизации, миграционные процессы, изменение плотности населения;

- варианты размещения перспективных инфраструктурных проектов.

Методикой [6] определены параметры, которые используются для оценки риска ЧС, источниками которых являются наводнения:

- максимальный подъем уровня воды;
- продолжительность затопления;
- зона возможного затопления.

Для прогнозирования подъема уровня воды различной обеспеченности, продолжительности затопления в настоящее время используются свод правил [7] и методические рекомендации по его использованию [8, 9].

При наличии данных гидрометрических наблюдений на действующих гидрологических постах состав необходимых морфометрических характеристик для гидрологических расчетов определен в нормативной документации [7, приложение В]. Для исследуемой реки устанавливают природную зону, в которой расположен бассейн реки, и по картам, основанным на обобщении результатов гидрологических исследований, или иными способами определяют основные морфометрические характеристики, используемые для расчетов.

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений в расчетных створах «применяются региональные методы определения расчетных гидрологических характеристик и пространственные региональные обобщения данных гидрометеорологических наблюдений за многолетний период» (региональные справочники) [9].

Основной морфометрической характеристикой, определяющей подъем уровня воды, является максимальный

расход, при отсутствии рек-аналогов, определяемый по редуccionной формуле [7, формула 7.21]:

$$Q_{pmax} = q_{200} \left(\frac{200}{S_basin} \right)^n \times \lambda_p \times \delta_1 \times \delta_2 \times S_basin, (1)$$

где:

q_{200} — модуль максимального расхода воды с вероятностью ежегодного превышения 1%, приведенной к площади водосбора 200 км²;

n — показатель степени редуccionии модуля максимального расхода, определяется по карте максимальных модулей дождевого стока рек СССР [10];

S_basin — площадь водосбора в пункте гидрологического наблюдения;

λ_p — переходный коэффициент от вероятности превышения 1% к вероятности p .

Значения коэффициентов, использованных в формуле (1), приведены в региональных справочниках и нормативных документах. Таким региональным справочником является, например, многотомное издание [11], данные в котором не актуализировались последние 50 лет.

Площадь водосбора при отсутствии данных гидрологических наблюдений может быть определена с помощью цифровых моделей рельефа (ЦМР) и геоинформационных систем (ГИС) [12].

В настоящее время ГИС активно используются в качестве прикладного программного обеспечения для гидрологического моделирования и прогнозирования. Имеется и постоянно пополняется бесплатный банк данных моделей гидрологических расчетов¹, появляются в открытом доступе данные мониторинга погоды, цифровые модели рельефа и пр. [13].

На основе использования ГИС создаются системы краткосрочного прогнозирования наводнений (уровня и расхода воды) [14, 15].

Вместе с тем, в Российской Федерации существует проблема доступности информации как по актуальным гидрологическим характеристикам, так и по архивным данным гидрометеорологических наблюдений [13], что формирует дополнительные ограничения для долгосрочного (стратегического) прогнозирования.

Таким образом, получение долгосрочных прогнозных значений параметров наводнений (глубины затопления, длительности периода затопления, зоны затопления), прогнозов редких событий (наводнений обеспеченностью 0,1–1%) остается весьма приближенным и основывается практически на использовании простейших корреляционных и иных связей и зависимостей, обусловленных гидрологическими закономерностями [16].

При ограниченном наборе данных для моделирования наводнений могут использоваться модели, основанные, в том числе, на геометрических принципах [17].

Целью работы является разработка метода прогнозирования параметров катастрофического наводнения

¹ Открытые алгоритмы, размещенные на GitHub — веб-сервисе для хостинга IT-проектов и их совместной разработки.

(повторяемостью 1 раз в 100–200 лет) в произвольных точках (не оборудованных пунктами гидрологического наблюдения), расположенных в пределах речных систем и идентифицируемых по географическим координатам, называемым далее «виртуальный гидропост» (ВГП), с использованием ЦМР. Под «методом» в дальнейшем будем понимать общий подход к решению задачи, вытекающий из физической сущности процессов, которые определяют прогнозируемое явление [18]. Разработанный метод лег в основу методики моделирования наводнений с целью оценки экономического ущерба от воздействия чрезвычайных ситуаций, вызванных наводнениями катастрофического характера, на объекты производственной и социальной инфраструктуры.

Теоретическая база метода основывается на расчетных зависимостях по определению гидрографических и гидрологических параметров наводнения (подъем уровня воды заданной обеспеченности, продолжительность затопления, зона возможного затопления), а также на цифровой модели рельефа.

Разработка метода прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неисследованных территориях

В общем виде средняя глубина воды в русле водотока в заданной точке (или отметка уровня водной поверхности), соответствующая максимальному расходу (Q_{max}) заданной обеспеченности (*frequency*), определяется методом итераций по зависимости:

$$h = f(Q, S(h)), \quad (2)$$

где Q определяется по выражению [9, формула 10.1]:

$$Q = \frac{S(h)}{c} \times h^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где:

$S(h)$ — площадь поперечного сечения поймы в месте расположения виртуального гидропоста, м²;

c — коэффициент шероховатости дна, с/м^{1/3}, задается нормативно [7, приложение Б, таблица Б.8];

I — средний уклон водотока, определяемый по зависимости [19, формула 1.10];

$$I = \frac{H_0 - H_u}{L}, \quad (4)$$

где:

H_0, H_u — отметки высоты начала и конца заданного участка водотока соответственно, м;

L — расстояние между началом и концом заданного участка водотока, км.

h — средняя глубина воды в русле, определяется по формуле:

$$h = \frac{S(h)}{W}, \quad (5)$$

где W — ширина поймы реки на уровне h , м.

Расчетное значение уровня воды заданной обеспеченности и средняя глубина получаются подбором при выполнении расчетов по формуле (3) в процессе реализации итерационной процедуры до достижения равенства $Q = Q_{max}$.

Зависимость $S(h)$ получается по данным гидрографических или геодезических работ в процессе производства инженерных изысканий. При этом поперечное сечение потока может либо аппроксимироваться геометрическими фигурами (треугольник, трапеция, полукруг и т.д.), либо задаваться набором точек с координатами и высотами.

Значения коэффициентов, приведенных в редуцированной формуле (1), определяются:

q_{200} — по карте слоя дождевого стока рек [10, приложение 5];

n — по карте максимальных модулей дождевого стока рек [10, приложение 21];

λ_p — по номеру района параметра λ_p [20, приложение 19] и переходной таблице [20, приложение 20].

Длительность периода затопления (*waterlvtime*) определяется по формуле:

$$waterlvtime = t_p \times (1 + K_s), \quad (6)$$

где t_p — продолжительность подъема уровня воды¹, определяемая по выражению [20, формула 7.37]:

$$t_p = 0,0116 \times \lambda \times h_p / q_p, \quad (7)$$

где:

λ — коэффициент формы гидрографа, соответствующий определенной величине коэффициента несимметричности гидрографа K_s , определяемый по [7, приложение Б, таблица Б.10] и рекам-моделям [11];

q_p — модуль максимального расчетного расхода воды, определяемый по формуле [7, формула 7.15]:

$$q_p = \frac{Q_p}{S_{basin}}, \quad (8)$$

h_p — расчетный слой суммарного стока полового. Определяется по карте [20, приложение 10];

p — расчетная обеспеченность.

Таким образом, одними из основных морфометрических характеристик, определяющими глубину затопления, являются площадь водосбора S_{basin} и площадь поперечного сечения $S(h)$, которые могут быть определены с использованием встроенного в ГИС блока гидрологических расчетов либо с использованием функций обработки ЦМР для гидрологических расчетов [13].

¹ Продолжительность основной волны, включающей максимальную ординату, следует принимать постоянной в подвижных границах для всех лет, исходя из условия наибольшего объема стока (притока) за принятый период [7, пункт 5.38].

Подготовка растровых моделей рельефа для моделирования наводнений

Инструменты, позволяющие определить направление движения воды по поверхности склонов, создать модель (древовидную структуру) речной сети и выделить водосборы различных порядков, реализованы в большинстве современных ГИС-пакетов с использованием ЦМР [13]. Эту же задачу возможно решить иными программными методами.

Порядок работы с картами ЦМР при выполнении гидрологических расчетов заключается в следующем:

выполняется гидрологическая корректировка ЦМР для устранения локальных депрессий и плоских областей [21];

выполняется расчет направлений стока с использованием алгоритма Deterministic Eight Neighbour (D8)³ [22];

создается матрица (растр) накопления стока (либо используется другой альтернативный способ);

зон затопления, является представление ее в виде графа [17].

Разработан алгоритм построения графа гидрографической сети, описанный ниже.

На основании ЦМР создается граф с информацией о стоке — происходит проход «курсора» по матрице высот ЦМР слева направо, сверху вниз, для каждой из ячеек матрицы определяются координаты соседней точки с наибольшим снижением (рис. 2).

Данный же способ использовался в ранее упомянутом алгоритме D8, однако, в отличие от изначальной концепции с записью направления в матрицу в виде закодированного элемента, между ячейками строится связь, что переводит всю ЦМР из двумерной структуры в абстракцию с информацией о связях между всеми элементами представленной ЦМР, показывающей направление потока воды (граф стока) (рис. 3) [23].

Зоны затопления различной обеспеченности строятся с использованием матрицы накопления стока, графа стока и координат ВГП за счет движения от ВГП вверх и вниз по направлению соединений узлов графа стока



Рис. 1. Общий алгоритм подготовки ЦМР для выполнения задач моделирования наводнений

производится заливка области по заданной высоте и превышению.

Общий алгоритм подготовки ЦМР для выполнения задач моделирования наводнений приведен на рис. 1.

Площадь водосбора S_{basin} для каждого ВГП определяется по формуле:

$$S_{basin_i} = d \times N, \quad (13)$$

где:

d — размер ячейки ЦМР, км²;

N — числовое значение в ячейке матрицы направлений стока, к которой относится ВГП.

Одним из способов построения гидрографической сети, используемой для целей моделирования

	1	2	3
1	92	80	65
2	95	100	70
3	110	85	79

Рис. 2. Создание направленного графа направлений стока

Примечание. В ячейках фрагмента матрицы ЦМР указаны значения высот. Для центральной ячейки матрицы ЦМР анализируются все соседние ячейки и строится связь с той из них, которая имеет наименьшее значение (высоту). Узел (2, 2) связан с узлом (3, 1), где узел (2, 2) является родительским узлом (от него исходит направленная связь)

³ Код алгоритма D8 [Электронный ресурс] // Портал GitHub. URL: https://github.com/jblindsay/whitebox-tools/blob/master/whitebox-tools-app/src/tools/hydro_analysis/d8_flow_accum.rs (дата обращения: 30.06.2022).

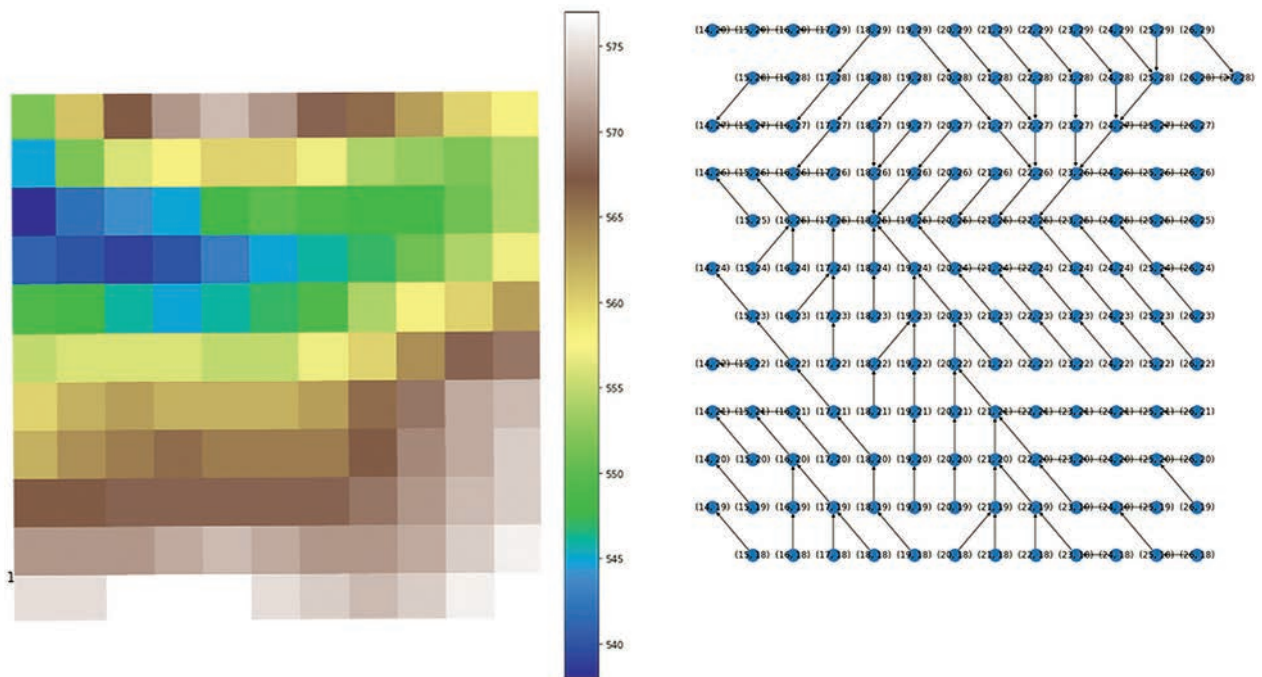


Рис. 3. Пример формирования графа стока из ЦМР: а) растр ЦМР (цвет ячейки зависит от высоты над уровнем моря, шкала высот размещена справа); б) построенный на основе ЦМР граф стока. Имя каждого узла — его координата в растре ЦМР. Источник: получено авторами

с бинарной отметкой для каждого: «затоплен»\«не затоплен», в зависимости от значения высоты местности для узла графа стока.

Выводы

Разработан метод прогнозирования параметров катастрофических наводнений для неисследованных территорий в целях оценки риска ЧС, разработки и реализации превентивных и защитных мероприятий. Метод, основанный на оригинальном подходе использования цифровой модели рельефа и утвержденных в соответствующих нормативных документах расчетных зависимостях, позволяет выполнить априорную оценку зон затопления в результате природных наводнений различной обеспеченности, в том числе редких катастрофических событий, оценить глубину и продолжительность затопления при отсутствии гидрометрических наблюдений на не исследованных в гидрологическом плане территориях.

Литература

1. Introductory Remarks by SRSG Mizutori, Workshop on Local Level Resilience and Pandemic during the Risk European Week of Regions and Cities (13 October 2020) [Электронный ресурс] // Портал UNDRR. URL: <https://www.undrr.org/news/introductory-remarks-srsg-mizutori-workshop-local-level-resilience-and-pandemic-during-risk> (дата обращения: 23.08.2022).
2. Реализация Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий в Российской Федерации: Итоги пятилетия / И. Ю. Олтян, Е. В. Арефьева, В. В. Крапужин [и др.]. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. 344 с. ISBN 978-5-93970-252-2. EDN JZQGAW.
3. Акимов В. А. Ранжирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по социально-экономическим показателям их катастрофичности / В. А. Акимов, И. Ю. Олтян, Е. О. Иванова // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской

В последующих статьях будет представлена разработанная на основе предлагаемого метода методика определения гидрологических характеристик (уровня воды, продолжительности и глубины затопления) и, в том числе, оценки вероятностей одновременного возникновения наводнений в близких территориально районах. Методика позволит выполнять расчеты основных количественных показателей риска чрезвычайных ситуаций, а также выполнять оценку возможных последствий чрезвычайных ситуаций, источниками которых являются природные наводнения, для наиболее вероятного и наиболее опасного сценариев развития чрезвычайных ситуаций. Полученные количественные показатели риска ЧС могут быть использованы для выявления зон с наибольшим страховым риском, разработки планов предупредительных и защитных мероприятий, оценки риска наводнений в зонах планируемой застройки и размещения объектов капитального строительства.

- обороны, Москва, 1 марта 2021 года. М.: АГПС МЧС России, 2021. С. 199–203. EDN HSWHSM.
4. Болгов М. В. О некоторых вопросах, связанных с прогнозированием чрезвычайных ситуаций, вызванных гидрологическими опасными явлениями и их последствиями / М. В. Болгов, Е. В. Арефьева // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2017. № 4 (35). С. 102–110. EDN ZSSINR.
5. Болгов М. В. Оценка экстремальных гидрологических характеристик в условиях неопределенности климатических изменений / М. В. Болгов, Е. В. Арефьева // Технологии гражданской безопасности. 2021. Т. 18. № 1 (67). С. 54–59. DOI 10.54234/CST.19968493.2021.18.1.67.10.54. EDN BLTBDA.
6. 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 г. № 4. М.: МЧС России, 2002.
7. СП 33-101-2003. Определение основных гидрологических характеристик.

8. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. Нижний Новгород: «Вектор-ТиС», 2007. 134 с.
9. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. СПб.: ГГИ; Нестор-История, 2009. 190 с.
10. СН 435-72. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1972.
12. СТО ГГИ 52.08.48-2020. Выбор цифровой картографической основы для определения гидрографических характеристик.
13. Пьянков С.В. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений: Монография / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. 148 с.: ил.
14. Фролов А. В. ГИС Амур — система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 5–21.
15. Борщ 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. Спец. вып. 356. 247 с.
16. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 1, Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Л.: ГИМИЗ, 1989. 258 с.
17. Визуализация гидрологической обстановки в бассейнах крупных рек средствами ГИС-технологий / С. В. Борщ, Т. Е. Самсонов, Ю. А. Симонов, Е. А. Львовская // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2013. № 349. С. 47–62. EDN RDJAJB.
18. Борщ С. В. Оценка качества прогнозов речного стока / С. В. Борщ, А. В. Христофоров // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2015. № 355. С. 3–195. EDN UJZSGL.
19. Орлов В. Г., Сикан А. В. Основы инженерной гидрологии. СПб.: изд. РГГМУ, 2003. 187 с.
20. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик.
21. Guilbert E. Multi-level representation of terrain features on a contour map // Geoinformatica. 2012. 17(2). P. 301–324.
22. O'Callaghan J.F., Mark D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data // Computer vision, graphics, and image processing. 1984. V. 28(3). P. 323–344.
23. Буркатовская Ю. Б. Деревья. Ориентированные, упорядоченные и бинарные деревья // Теория графов. 2014. Ч. 1. С. 154–158.

Сведения об авторах

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

Жалнин Константин Юрьевич: Российская национальная перестраховочная компания, руковод. проектного офиса. Москва, Россия.

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), г. 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.

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

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

Олтян Никита Николаевич: магистрант, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», факультет информационных технологий и анализа больших данных. Москва, Россия.

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

Information about authors

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

Zhalnin Konstantin Yu.: Russian National Reinsurance Company, Project Office Manager. Moscow, Russia.

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

Arefyeva 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.

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

Sergeev Evgeny B.: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Researcher. 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.

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