

УДК 614.8

## Результаты расчетов гидрологических параметров для оценки риска чрезвычайных ситуаций на неизученных территориях на основе моделирования катастрофических наводнений

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.4.74

© Технологии гражданской безопасности, 2022

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

### Аннотация

В статье представлены результаты расчетов некоторых гидрологических параметров для неизученных и слабоизученных территорий, которые необходимы для вычисления уровней воды заданной обеспеченности, длительности периода затопления.

Метод расчета основан на оригинальном подходе, в основе которого лежит использование цифровой модели рельефа и построение гидрографической сети в виде ориентированного графа, характеризующего направление потока воды. Рассчитываемые по предложенному методу гидрологические характеристики определяются для виртуальных гидропостов в соответствии с расчетными зависимостями, приведенными в методических рекомендациях по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений.

**Ключевые слова:** наводнение; гидрологические параметры; максимальный модуль дождевого стока рек; параметры наводнений; максимальный расход; виртуальный гидропост; цифровая модель рельефа; матрица накопления стока; граф стока; SRTM.

## Estimation Results of Hydrological Parameters for Assessing risk of Emergencies in Unexplored Areas Based on Catastrophic Floods Modeling

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.4.74

© Civil Security Technology, 2022

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

### Abstract

The article presents the results of some hydrological parameters estimation for unexplored and poorly studied territories, which are necessary to calculate given water levels, duration of the flooding period.

Estimation method is based on the original approach using digital relief model and hydrographic network construction in the form of a directed graph characterizing water flow direction. Hydrological characteristics estimated according to the proposed method are determined for virtual hydro posts in accordance with the estimated dependencies given in the methodological recommendations for determining estimated hydrological characteristics in the absence of observational data.

**Key words:** flood; hydrological parameters; maximum module of the rivers rain runoff; flood parameters; maximum flow rate; virtual hydropost; digital relief model; runoff accumulation matrix; runoff graph; SRTM.

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».

*Статья является второй в цикле статей, посвященных новому подходу к оценке параметров катастрофических наводнений на слабоизученных и неизученных в гидрологическом аспекте территориях. Первая часть цикла — статья «О методе прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях в целях оценки риска чрезвычайных ситуаций» (опубликована в журнале «Технологии гражданской безопасности», № 3, 2022 г.).*

## Введение

В первой статье цикла [1] авторами представлен метод прогнозирования параметров катастрофических наводнений для неизученных и слабоизученных территорий в целях оценки риска ЧС, разработки и реализации превентивных и защитных мероприятий на застроенных и планируемых к застройке территориях. Метод, основанный на оригинальном подходе с использованием цифровой модели рельефа и рекомендованных в соответствующих нормативных документах расчетных зависимостей, позволяет выполнить априорную оценку зон затопления в результате природных наводнений различной обеспеченности, в том числе редких катастрофических событий, оценить глубину и продолжительность затопления при недостаточности и отсутствии данных гидрометрических наблюдений.

Для территорий с преобладанием дождевых паводков принято [2, 3], что основной морфометрической характеристикой, определяющей подъем уровня воды в водотоке (реке), является максимальный расход, при отсутствии рек-аналогов, определяемый по формуле редуцированного типа [4]:

$$Q_{pmax_i} = q_{200} \left( \frac{200}{S_{basin_i}} \right)^n \times \lambda_p \times \delta_1 \times \delta_2 \times S_{basin_i}, \quad (1)$$

где:

$S_{basin_i}$  — площадь поверхностного водосбора в пункте гидрологического наблюдения;

$q_{200}$  — модуль максимального расхода воды вероятностью ежегодного превышения 1%, приведенной к площади водосбора 200 км<sup>2</sup>;

$n$  — показатель степени редукиции модуля максимального расхода, определяется по карте максимальных модулей дождевого стока рек СССР;

$\lambda_p$  — переходный коэффициент от вероятности превышения 1% к другой вероятности.

Переменные  $S_{basin_i}$ ,  $q_{200}$ ,  $n$ ,  $\lambda_p$ , входящие в формулу (1), являются основными параметрами, определяющими максимальный расход дождевого паводка в интересующем пункте при отсутствии гидрометрических измерений. Прогнозируемая глубина затопления в пункте гидрологического наблюдения, помимо максимального

расхода, определяется также водным (поперечным) сечением<sup>1</sup>, методика и результаты расчета которого будут представлены в последующих публикациях. Разработанный метод [1] применен для пилотного субъекта — территории Иркутской области.

Общая длина рек Иркутской области — 309 355 км [5]. По данным Росгидромета [6], в Иркутской области по состоянию на декабрь 2022 года действовало 130 гидрологических постов (ГП), что соответствует в среднем 1 гидропосту на 2380 км. Вместе с тем в Иркутской области вблизи рек расположены 2100 населенных пунктов [7]; большинство населенных пунктов не имеет пунктов регулярных инструментальных гидрологических измерений, т. е. они рассматриваются как неизученные.

Территория Иркутской области принадлежит к трем бассейновым округам: Ангаро-Байкальскому, Енисейскому, Ленскому, в соответствии с классификацией, определенной приказом Минприроды от 11 октября 2007 года № 265 «Об утверждении границ бассейновых округов». Установление (выделение) гидрографических единиц и определение их границ проводится на основе государственных топографических карт и цифровых моделей рельефа с использованием геоинформационных технологий [8].

Рассматриваемый регион характеризуется повышенной паводочной опасностью, в последние десятилетия отмечались сильные дождевые паводки, приводившие к огромному ущербу [9].

Ниже представлены результаты расчетов некоторых гидрологических параметров, входящих в формулу (1), полученных на основе применения метода прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях Ленского бассейнового округа, гидрографической единицы 18.03.01 — Лена до впадения Витима (территория Иркутской области).

## Исходные данные для модельных расчетов

В качестве исходных данных, использованных для расчетов гидрологических параметров, определяющих максимальный расход [1], рассчитываемый на основе предложенного метода прогнозирования параметров катастрофических наводнений на неизученных территориях, использованы следующие картографические материалы:

цифровая модель рельефа;

растровая карта максимальных модулей дождевого стока рек СССР, вероятностью превышения  $p = 1\%$  [10, Приложение 5];

растровая карта слоя дождевого стока рек СССР, вероятностью превышения  $p = 1\%$  [10, Приложение 10].

В качестве цифровой модели рельефа (ЦМР) при моделировании использованы данные радарной

<sup>1</sup> Водное сечение — поперечное сечение водного потока [ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения].

топографической съемки большей части территории земного шара (Shuttle radar topographic mission (SRTM)) [11].

Разрешение SRTM между 60 град. с. ш. и 60 град. ю. ш. — 1 угловая секунда, в остальных широтах — 3 угловые секунды [12]. Разрешение данных по высоте — 1 метр.

Алгоритм подготовки ЦМР для выполнения задач моделирования наводнений описан в работе авторов статьи [1].

### Моделирование поверхностного водосбора<sup>2</sup> русловой сети на основе ЦМР

Площадь поверхностного водосбора  $S_{basin_i}$  может быть определена с использованием ЦМР и существующих открытых алгоритмов<sup>3</sup>. Наиболее используемым и простым в реализации является алгоритм Deterministic Eight Neighbour (D8) [13].

Суть используемого метода моделирования поверхностного водосбора рассмотрена в статье [1]. Предполагается, что поток из рассматриваемой ячейки целиком направляется в ту из восьми соседних, которая имеет, во-первых, меньшую высоту и, во-вторых, наибольший уклон линии, соединяющей центр текущей ячейки с центром соседней. Размер ячейки определяется используемой ЦМР.

На основе ЦМР строится матрица направлений стока: каждой ячейке матрицы направлений стока присваиваются значения от 1 до 8, которые указывают направление в сторону наименьшего значения высоты в соседних ячейках ЦМР. По направлению стока он аккумулируется: в каждой ячейке хранится количество всех ячеек, которые в сумме указывают на нее (рис. 1).

Гидрографическая сеть в работе [14] описана ориентированным графом, где каждый узел представляет собой суббассейн; ориентированные ребра показывают связи суббассейнов. Мы представили русловую сеть<sup>4</sup> бассейна реки Лена (на территории Иркутской области) как ориентированный граф (орграф)  $G = (V, E)$  с информацией о стоке, где каждый узел в наборе

узлов  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  хранит координаты ячейки (lon\_x, lat\_y) в ЦМР, высоту ячейки (height) ЦМР над уровнем моря, количество ячеек, которые «стекают» в данную ячейку (acc\_flow), а каждое ребро  $v_i \rightarrow v_j \in E$  показывает, что узел  $v_i$  является родительским узлом для потомка — узла  $v_j$  (вода «вытекает» из узла  $v_i$  и «принимается» узлом  $v_j$ ) [15]. Такой подход подробно описан и показал свою эффективность в работе [16] на примере бассейна реки Ока.

Построение схемы русловой сети в виде ориентированного графа [17] выполнено с использованием библиотеки *NetworkX*, созданной на языке *Python* и предназначенной для работы с графами и другими сетевыми структурами [18]. Библиотека *NetworkX* позволяет работать с простыми, ориентированными и взвешенными графами. Примечательно, что узел может хранить любую дополнительную информацию: время, текст, изображение, XML. Библиотека свободно может оперировать весьма большими сетевыми структурами уровня графа с 10 млн узлов и 100 млн дуг между ними.

Модельная схематизация русловой сети в дальнейшем получила название *HydroGraph* и представлена на рис. 2.

### Расстановка (назначение) виртуальных гидрологических постов

Метод прогнозирования параметров катастрофических наводнений применим для виртуальных гидропостов (ВГП): произвольных точек, идентифицируемых по географическим координатам, не оборудованных пунктами гидрологического наблюдения, искусственно размещенных в фарватере реки, относительно которых производится расчет зон затопления [1]. Для каждого ВГП должны быть определены гидрологические параметры, входящие в формулу (1), для расчета максимального расхода.

Расстановка ВГП выполнялась вручную в геоинформационной системе (QGIS<sup>5</sup> — свободная кроссплатформенная открытая геоинформационная система) по всем водотокам<sup>6</sup> всех участков рек:

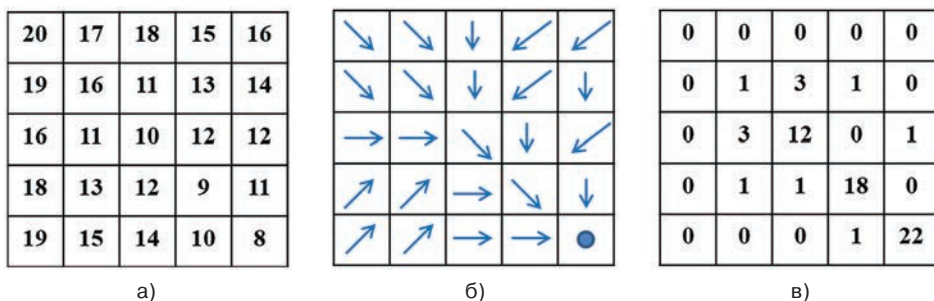


Рис. 1. Визуализация расчета направлений поверхностного стока и матрицы (растра) накопления стока [7]: а) матрица (растр) высот (ЦМР); б) направления поверхностного стока; в) матрица (растр) накопления стока

<sup>2</sup> Водосбор — часть земной поверхности и толща почв и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту [ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения].

<sup>3</sup> Открытые алгоритмы, размещенные на GitHub — веб-сервисе для хостинга IT-проектов и их совместной разработки.

<sup>4</sup> Русловая сеть — совокупность русел и всех водотоков в пределах какой-либо территории [ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения].

<sup>5</sup> QGIS [Электронный ресурс] .// URL: <https://qgis.org/ru/site/> (дата обращения: 13.11.2022).

<sup>6</sup> Водоток — водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности [ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения].



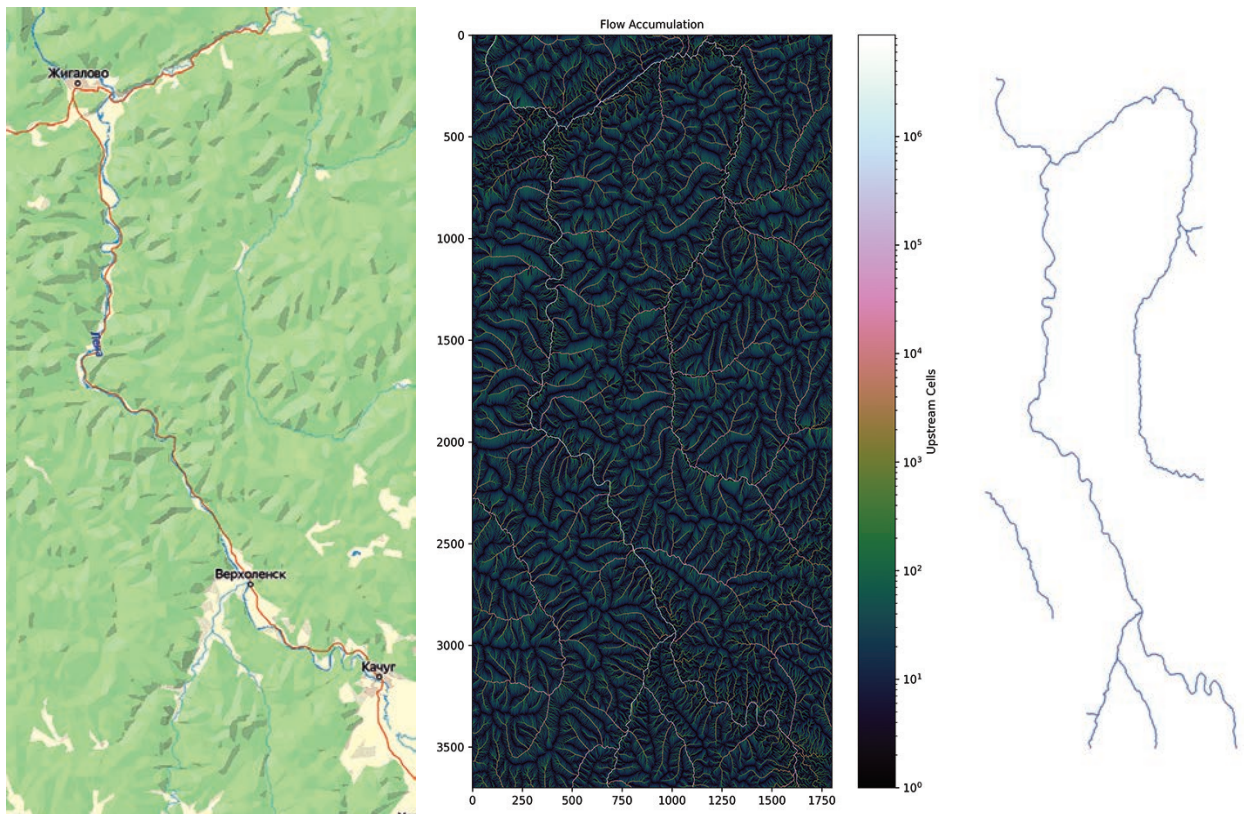


Рис. 2. Визуализация реки, модельная схематизация русловой сети (бассейн реки Лена): а) геоданные с портала [19]; б) матрица (растр) накопления стока [Источник: получено авторами]; в) HydroGraph [17]

каждые 10 км, начиная от устья каждого водотока;  
на основном русле водотока;  
у населенных пунктов, расположенных на водотоках;

на расстоянии 1-2 км вниз по течению от места впадения водотока в другой водоток;

дополнительные ВГП устанавливались посередине между гидропостами (фактическими ГП и/или ВГП) в случае расположения границ населенного пункта (НП) на расстоянии менее 2,5 км до водотока.

ВГП сохранялись в единый слой QGIS, экспортировались координаты ВГП (широта, долгота в градусах в виде десятичной дроби с точностью до шестого знака после разделителя), высота над уровнем моря, определяемая по ЦМР для ВГП и принимаемая далее как естественный уровень воды в месте расположения ВГП (обозначаемый как natlvl).

На рис. 3, 4 представлена схема расстановки фактических и виртуальных гидропостов для рассматриваемой гидрографической единицы 18.03.01 — Лена до впадения Витима.

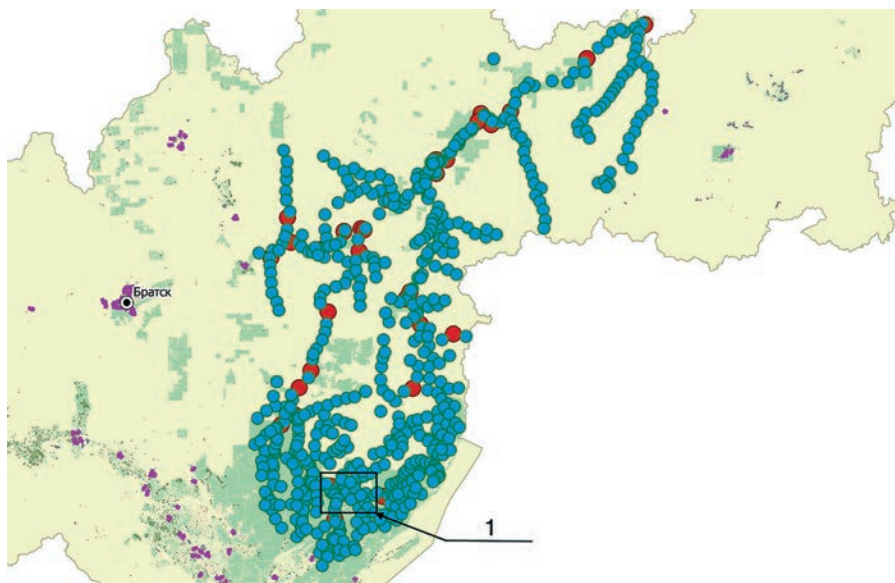


Рис. 3. Расположение фактических (красные точки) и виртуальных (голубые точки) гидрологических постов на карте Иркутской области (гидрографическая единица 18.03.01 — Лена до впадения Витима)

Примечания: 1) поскольку используется мелкомасштабная карта, русловая сеть рек не видна; 2) на рис. 4 показан фрагмент карты, обозначенный цифрой 1.

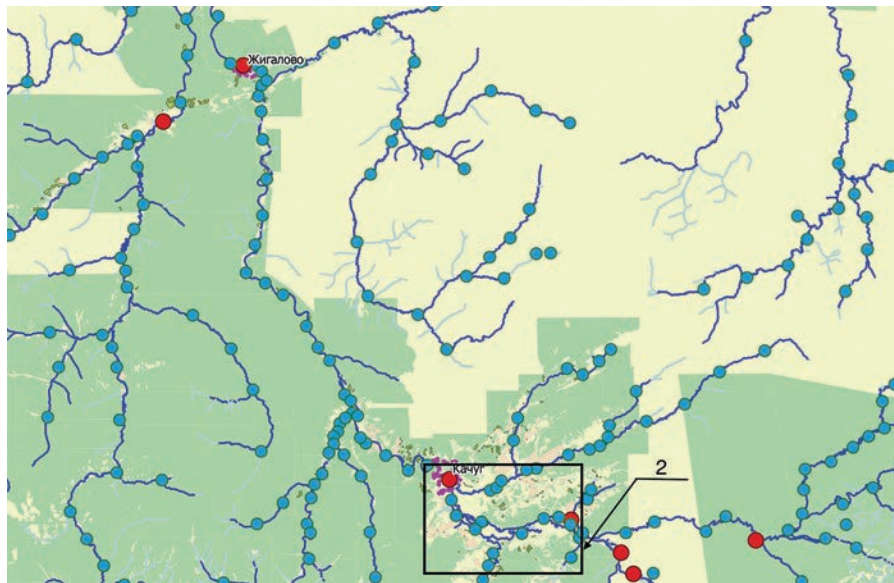


Рис. 4. Фрагмент карты, обозначенный цифрой 1 на рис. 3: расположение фактических (красные точки) и виртуальных (синие точки) гидрологических постов на карте Иркутской области (гидрографическая единица 18.03.01 — Лена до впадения Витима) (участок ГП Качуг — ГП Жигалово, р. Лена)  
Примечание: на рис. 6 показан фрагмент карты, обозначенный цифрой 2.

Для решения задачи прогнозирования параметров катастрофических наводнений в работе [1] сформулированы следующие гипотезы и допущения:

- а) ЦМР может быть использована для:
  - построения матрицы (растра) накопления стока;
  - построения ориентированного графа, описывающего русловую сеть;
- б) матрица (растр) накопления стока может быть использована для:
  - определения площади поверхностного водосбора  $S_{basin_i}$  для  $i$ -го ВГП;
  - нахождения некоторых гидрологических параметров, определяемых по растровым картам [10, Приложение 5, 10] (совместно с ЦМР);
  - построения русловой сети в виде ориентированного графа;
  - определения уклона водной поверхности в месте расположения ВГП (совместно с ориентированным графом, описывающим русловую сеть<sup>7</sup>);
  - построения поперечного профиля реки (водного сечения) (совместно с ориентированным графом, описывающим русловую сеть);
- в) ориентированный граф, описывающий русловую сеть, может быть использован для:
  - определения длины водотоков;
  - определения уклона водной поверхности в месте расположения ВГП (совместно с ЦМР);
  - построения поперечного профиля реки (водного сечения) (совместно с ЦМР);
  - построения зон затопления (совместно с ЦМР).

Для производства гидрологических расчетов использовались растровые карты [10, Приложения 5, 10]. На основе растровых карт максимальных модулей дождевого стока рек СССР вероятностью превышения  $p = 1\%$  (параметр  $q_{200}$ ,  $m^3/c \times km^2$ ) [10, Приложение 5],

карты слоя дождевого стока рек СССР вероятностью превышения  $p = 1\%$  [10, Приложение 5] (параметр  $h_p$ ), показателя степени редукции модуля максимального расхода  $n$  [20, приложение 16], созданы слои ГИС.

Разработан алгоритм расчета гидрологических параметров:

- модуля максимального расхода воды вероятностью ежегодного превышения 1%, приведенной к площади водосбора 200 км<sup>2</sup> ( $q_{200}$ );
- расчетного слоя суммарного стока половодья ( $h_p$ );
- показателя степени редукции модуля максимального расхода  $n$  по ЦМР.

Разработанный алгоритм показан на примере расчета параметра  $q_{200}$ :

1) на карту максимальных модулей дождевого стока рек [10, Приложение 5] на территорию исследуемого субъекта Российской Федерации наносится квадратная сетка 50 × 50 км (или 100 × 100 км, если параметр  $q_{200}$  по территории меняется незначительно). Для рек Иркутской области значения  $q_{200}$  меняются существенно — могут отличаться в разы для соседних рек;

2) вершинам квадратов присваиваются значения модулей дождевого стока  $q_{200}$ , определенные путем интерполяции по карте [10, Приложение 5]. Если квадрат целиком попадает в область одного значения, то вершинам квадрата присваивается это значение модуля дождевого стока; если ячейка захватывает несколько разных значений, то интерполяция выполняется из центра квадрата через его вершину в центр соседнего, который лежит по направлению от центра к вершине;

3) выбирается ГП и определяется площадь водосбора, соответствующая этому ГП. Центр водосбора рассчитывается как центр тяжести фигуры, ограниченной контуром водосбора. Для центра тяжести водосбора по координатам определяется квадрат, в который попадает

<sup>7</sup> Русловая сеть — совокупность русел и всех водотоков в пределах какой-либо территории [ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения].



точка центра тяжести водосбора, по которому выполняется расчет для этого гидропоста;

4) параметр  $q_{200}$ , относящийся к выбранному ВГП, рассчитывается как усредненное значение показателя  $q_{200}$ , полученное как взвешенное среднее из значений  $q_{200,i}$  в вершинах выбранного квадрата, умноженных на расстояние от центра тяжести водосбора ВГП до вершин квадрата:

$$q_{200} = \frac{\sum_{i=1}^4 a_i \times q_{200,i}}{\sum_{i=1}^4 a_i}, \quad (2)$$

где:

$a_i$  — расстояние от центра тяжести водосбора для ВГП до вершин квадрата квадратной сетки, нанесенной на карту субъекта на шаге 1 работы алгоритма;

$q_{200,i}$  — значение параметра  $q_{200}$  в вершинах квадрата квадратной сетки, нанесенной на карту субъекта на шаге 1 работы алгоритма.

На рис. 5 показана визуализация расчета параметра  $q_{200}$  для отдельного ВГП.

Площадь поверхностного водосбора  $S_{basin_i}$  для каждого ВГП (рис. 3) определялась по матрице накопления стока [1, 15, 21] по формуле:

$$S_{basin_i} = d \times N, \quad (3)$$

где:

$d$  — размер ячейки ЦМР, км;

$N$  — значение в ячейке матрицы накопления стока.

## Основные результаты моделирования и расчетов

Для указанных на карте виртуальных гидропостов (рис. 6) выполнены расчеты по предложенному методу определения некоторых гидрологических параметров, в первую очередь, площади поверхностного водосбора (табл. 1), который используется для определения максимальных расходов и соответствующих значений уровней воды в водотоке.

Результаты расчетов  $S_{basin}$  для выбранных гидропостов приведены в табл. 2, там же указаны абсолютные и относительные погрешности рассчитанных площадей поверхностного водосбора в сравнении со справочными данными.



Рис. 5. Визуализация расчета параметра  $q_{200}$  для виртуального гидропоста

Таблица 1

Результаты расчетов некоторых гидрологических параметров для виртуальных гидропостов (рис. 6)

№ п/п	Номер ГП	Широта, град.	Долгота, град.	Река	Нуль ГП, м	Площадь поверхностного водосбора, км <sup>2</sup>	$q_{200}$	$h_p$	$n$
1	100040	53,93975	106,0583	Анга	520	2511,38	0,65	50	0,35
2	100041	53,95349	106,0775	Анга	523	2459,44	0,65	50	0,35
3	100414	53,84276	106,1491	Лена	530	9244,16	0,34	75	0,35
4	100572	53,86179	106,3247	Лена	544	8816,57	0,34	100	0,35
5	100619	53,87766	106,2814	Лена	539	9126,77	0,34	100	0,35
6	100620	53,83385	106,3557	Жуя	547	193,93	0,34	100	0,35
7	100656	53,91339	105,8976	Лена	505	14643,21	0,2	75	0,35
8	100672	53,87483	106,2287	Лена	534	9157,27	0,34	100	0,35
9	100707	53,80091	106,0468	Манзурка	524	38,62	0,34	100	0,35
10	100796	53,93539	106,3975	Правая Бирюлька	580	89,49	0,3	75	0,35

Таблица 2

Валидация значений гидрологического параметра  $S_{basin}$  (площадь поверхностного водосбора)

Код ГП	Населенный пункт	Река	x_lon	y_lat	Площадь поверхностного водосбора, км <sup>2</sup> $S_{basin}$ (формула 3)	Площадь поверхностного водосбора, км <sup>2</sup> (справочные данные)	Абсолютная погрешность, км <sup>2</sup>	Относительная погрешность, %
3001	Чанчур	Лена	106.9891	53.8281	4675,735	4690	14,265	0,3
3003	Качуг	Лена	105.8889	53.9563	17504,565	17400	-104,565	0,6
3004	Лена	Жигалово	105.1515	54.819	30869,304	30400	-469,304	1,54
3010	Лена	Усть-Кут	105.6779	56.7594	74592,026	71400	-3192,026	4,47
3012	Пожымахино	Лена	106.1816	56.9752	76883,955	73400	-3483,955	4,75
3014	Таюра	Лена	106.5292	57.0028	78041,810	74500	-3541,81	4,75
3015	Марково	Лена	107.063	57.3352	85619,249	82500	-3119,249	3,78
3017	Макарово	Лена	107.8279	57.4889	94228,691	90200	-4028,691	4,47

Код ГП	Населенный пункт	Река	x_lon	y_lat	Площадь поверхностного водосбора, км <sup>2</sup> S_basin (формула 3)	Площадь поверхностного водосбора, км <sup>2</sup> (справочные данные)	Абсолютная погрешность, км <sup>2</sup>	Относительная погрешность, %
3056	Большая Тарель	Правая Иликтя	106.5486	53.7576	1473,946	1450	-23,946	1,65
3057	Бирюлька	Бирюлька	106.3254	53.8709	297,056	280	-17,056	6,09
3059	Зуева	Манзурка	105.9844	53.5527	3501,18	3280	-221,18	6,74
3068	Знаменка	Илга	104.8644	54.7025	7673,401	7600	-73,401	0,97
3073	Максимово	Кута	105.0009	57.1303	7521,130	6480	-1041,13	16,07
3074	Ручей	Кута	105.0625	56.852	12292,310	11200	-1092,31	9,75
3079	Таюра	Таюра	106.5887	56.9888	6207,086	5720	-487,086	8,52
3083	Карам	Киренга	107.6123	55.1434	13469,769	12900	-569,769	4,42
3084	Улькан	Киренга	107.7671	55.9029	24874,469	23700	-1174,469	4,96
3085	Ключи	Киренга	107.4687	56.1981	30178,673	28700	-1478,673	5,15
3086	Казачинское	Киренга	107.5527	56.2765	30333,281	28800	-1533,281	5,32
3603	ГМП Иликтя	Иликтя	106.5063	53.8013	2823,889	2850	26,111	0,92
3637	Звездный	Ния	106.4905	56.7462	2519,017	2300	-219,017	9,52

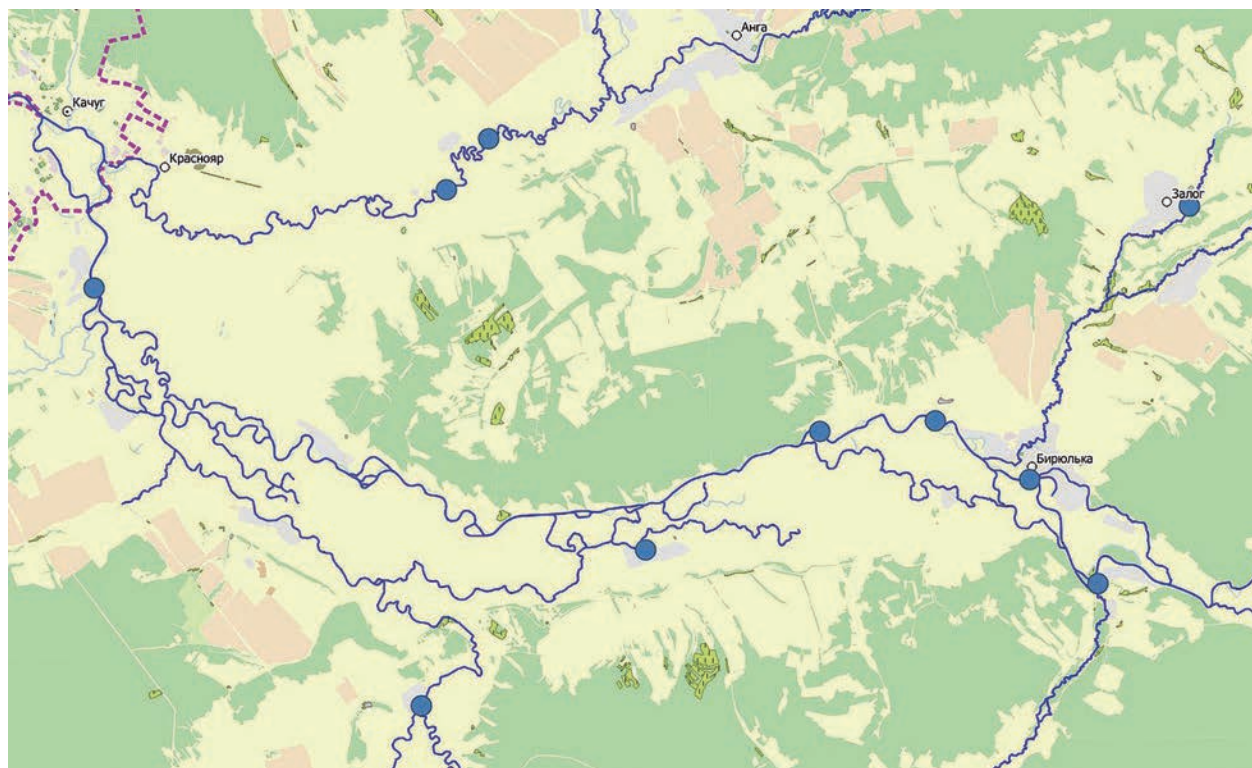


Рис. 6. Фрагмент карты, обозначенный цифрой 2 на рис. 4: расположение виртуальных ГП из табл. 1 (голубые точки)

## Выводы

В статье рассмотрены результаты расчетов некоторых гидрологических характеристик для слабоизученных и неизученных территорий (прежде всего, максимального расхода), получаемых с помощью оригинального подхода на основе использования стандартной гидрологической информации и цифровых моделей рельефа, матрицы (растра) накопления стока.

Результаты расчетов некоторых гидрологических параметров подтверждают гипотезу о том, что ЦМР может быть использована для построения

матрицы (растра) накопления стока, а также для описания русловой сети в виде ориентированного графа (HydroGraph), которые, в свою очередь, могут использоваться для определения некоторых гидрологических параметров.

Приведенные результаты расчетов гидрологических параметров используются для определения уровней поверхностных вод, глубин затопления, времени продолжительности затопления и построения зон затопления, а также формирования синтетического каталога наводнений, что составит предмет последующих публикаций.

## 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, Е.В. Арефьева, М.В. Болгов, А.С. Котосонов, Ю.К. Чяснавичюс, Е.Б. Сергеев, Н.Н. Олтян // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 3(73). С. 78–83. EDN MXDHWZ.
2. 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.
3. 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.
4. СП 33-101-2003. Определение основных гидрологических характеристик.
5. Водный потенциал Иркутской области [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Иркутской области. URL: <https://irkobl.ru/sites/ecology/working/woter/protenc/> (дата обращения: 30.10.2022).
6. Обзор состояния системы гидрологических наблюдений, обработки данных и подготовки информационной продукции в 2021 году. Росгидромет, 2022 [Электронный ресурс] // Официальный сайт ФГБУ «Государственный гидрологический институт». URL: [http://hydrology.ru/sites/default/files/Books/obzor\\_seti\\_2021.pdf](http://hydrology.ru/sites/default/files/Books/obzor_seti_2021.pdf) (дата обращения: 30.10.2022).
7. Научно-технический отчет о научно-исследовательской работе «Разработка методики моделирования наводнений». Этап 2. Разработка методики моделирования наводнений. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022.
8. Приказ Минприроды от 25.04.2007 № 112 «Об утверждении Методики гидрографического районирования территории Российской Федерации».
9. Болгов М. В., Коробкина Е. А., Осипова Н. В., Филиппова И. А. Об оценках максимального стока реки Ия во время экстремального паводка 2019 года // Метеорология и гидрология. 2020. № 11. С. 53–63.
10. СН 435-72. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик.
11. Описание и получение данных SRTM [Электронный ресурс] // Портал GIS-LAB. URL: <https://gis-lab.info/qa/srtm.html> (дата обращения: 13.11.2022).
12. Map of Shuttle Radar Topology Missin [Электронный ресурс] // URL: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/coverage.html.gif> (дата обращения: 20.12.2022).
13. O'Callaghan J.F., Mark D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data // Computer Vision, Graphics and Image Processing. 28. P. 328-344 [Электронный ресурс] // URL: [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(84\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(84)80011-0) (дата обращения: 20.12.2022).
14. HydroNets: Leveraging River Structure for Hydrologic Modeling [Электронный ресурс] // URL: <https://ai4earthscience.github.io/iclr-2020-workshop/papers/ai4earth04.pdf> (дата обращения: 20.12.2022).
15. Кошель С.М. Современные методы расчета распределения поверхностного стока по цифровым моделям рельефа / С.М. Кошель, А.Л. Энтин // Геоморфологи: Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. М.: Медиа-ПРЕСС, 2016. С. 24–34. EDN WZPQOH.
16. 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.
17. Чяснавичюс 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.
18. NetworkX для удобной работы с сетевыми структурами [Электронный ресурс] // Портал «Хабр». URL: <https://habr.com/ru/post/125898/> (дата обращения: 13.11.2022).
19. Россия: регионы — векторные данные, карты, рельеф, космоснимки и готовые проекты ГИС. Иркутская область. [Электронный ресурс] // Сайт NEXTGIS. URL: <https://data.nextgis.com/ru/region/RU-IRK/base/> (дата обращения: 13.11.2022).
20. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик.
21. СТО ГТИ 52.08.48-2020. Выбор цифровой картографической основы для определения гидрографических характеристик.

## 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.

**Радионов Геннадий Павлович:** Esri CIS, технический директор. Москва, Россия.

**Олтян Ирина Юрьевна:** к.т.н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), ученый 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. лабораторией. 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.

## Information about authors

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

**Zhalnin Konstantin Yu.:** Russian National Reinsurance Company, Head of Project Office. Moscow, Russia.

**Radionov Gennady P.:** Esri CIS, Technical Director. 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.

**Arefieva Elena V.:** ScD (Technical Sc.), Assistant 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 RAS, Head of Laboratory. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 2425-4293.

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



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

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

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

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

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

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

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

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

## Издания ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Авторы, название	URL
<i>Акимов В.А. и др.</i> Прогнозно-аналитические решения по природным, техногенным и биолого-социальным угрозам единой системы информационно-аналитического обеспечения безопасности среды жизнедеятельности и общественного порядка «Безопасный город». Монография.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=49767511">https://elibrary.ru/item.asp?id=49767511</a>
<i>Григорьев В.Н.</i> Принципы подготовки и написания диссертаций.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=49815881">https://elibrary.ru/item.asp?id=49815881</a>
<i>Авдеева В. Г. и др.</i> Развитие системы оказания помощи пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях на современном этапе: опыт, проблемы, перспективы.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=44621912">https://elibrary.ru/item.asp?id=44621912</a>
<i>Гуренков А.С. и др.</i> Сборник лекционных материалов для проведения занятий с дежурно-диспетчерским персоналом единых дежурно-диспетчерских служб муниципальных образований.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=44805322">https://elibrary.ru/item.asp?id=44805322</a>
<i>Авдеева В. Г. и др.</i> Развитие системы оказания помощи пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях на современном этапе: опыт, проблемы, перспективы.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=44621912">https://elibrary.ru/item.asp?id=44621912</a>
<i>Акимов В.А. и др.</i> Нелинейная наука для исследования аварий, катастроф и стихийных бедствий.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=45040288">https://elibrary.ru/item.asp?id=45040288</a>
<i>Соловьев В.А. и др.</i> Международная научно-практическая конференция «Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Северо-Западном Арктическом регионе России».	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=45040117">https://elibrary.ru/item.asp?id=45040117</a>
<i>Мануйло О.Л. и др.</i> Творчество юных во имя спасения. Литературно-художественный альманах. Выпуск № 4.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=45040485">https://elibrary.ru/item.asp?id=45040485</a>
<i>Олтян И.Ю. и др.</i> Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий. Материалы конгресса.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=45040593">https://elibrary.ru/item.asp?id=45040593</a>
<i>Баранник А.Ю. и др.</i> Каталог технических средств, предназначенных для гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций / МЧС России.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=45796467">https://elibrary.ru/item.asp?id=45796467</a>
<i>Поздняков Н.А. и др.</i> Оказание помощи пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях: современное состояние и перспективы развития.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=46111413">https://elibrary.ru/item.asp?id=46111413</a>
<i>Олтян И.Ю. и др.</i> Реализация Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий в Российской Федерации. Итоги пятилетия.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=46389727">https://elibrary.ru/item.asp?id=46389727</a>
<i>Мануйло О.Л. и др.</i> Творчество юных во имя спасения: Литературно-художественный альманах, Выпуск № 5.	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=46173686">https://elibrary.ru/item.asp?id=46173686</a>