



УДК 556.166+627.51(571.53)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.80>

Зонирование малых городов Иркутской области по степени опасности затопления

Е. А. Парыгина, Е. В. Слепнева*

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Н. В. Кичигина

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Рассматриваются способы выделения зон затопления по спутниковым снимкам местности и цифровой модели рельефа в геоинформационной системе QGIS. Определяется, что наиболее эффективным средством является цифровая модель рельефа, позволяющая более точно провести границу зоны затопления по высотным отметкам высшего уровня воды на гидрологическом посту в пик наводнения. Исследуются малые города в бассейне р. Ангары на территории Иркутской области, которыми стали Тулун, Нижнеудинск и Бирюсинск, расположенные в пойменных участках рек Ия, Уда и Бирюса. Проводится зонирование муниципальных образований «город Тулун», «город Нижнеудинск» и «город Бирюсинск» по степени опасности затопления при паводочных наводнениях. Изучается рельеф исследуемых местностей, позволяющий выделить для каждой территории четыре зоны, характеризующиеся разной степенью опасности затопления (зона высокой степени опасности, средней степени, низкой степени и отсутствия опасности).

Ключевые слова: паводочные наводнения, цифровая модель рельефа, зоны затопления, опасность, малые города Иркутской области.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда проект № 22-27-00326.

Для цитирования: Парыгина Е. А., Слепнева Е. В., Кичигина Н. В. Зонирование малых городов Иркутской области по степени опасности затопления // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 45. С. 80–94. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.80>

Original article

Zoning of Towns in the Irkutsk Region According to the of Floods Danger

E. A. Parygina, E. V. Slepneva*

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

N. V. Kichigina

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. Methods of flooding zones identification using as satellite space images as digital elevation model in the QGIS geographic information system are considered. It has been determined that

the digital elevation model is most effective method. It allows to more accurately identify the flooding zone boundary according to the elevation marks of the highest water level at the hydrological station. For studying the floods risk the small towns in the Angara River basin in Irkutsk region were selected (Tulun, Nizhneudinsk and Biryusinsk), which located on the floodplain areas of the Iya, Uda and Biryusa Rivers. Biryusinsk is subject to less flooding and consequences due to the location of the town on elevated areas of the right-bank terraces of the Biryusa River valley. Zoning of “Tulun town”, “Nizhneudinsk town” and “Biryusinsk town” according to the flood risk degree was carried out. According to relief elevation marks the four zones have been defined for each territory, which characterized by different degrees of flooding hazard (high hazard, medium hazard, low hazard and no hazard zone). An analysis of the main causes, as well as the structure of the flood zone during the catastrophic rain flood of 2019 in the cities of Tulun and Nizhneudinsk was carried out. He showed that, along with hydroclimatic factors (intense and abundant rainfall, high previous moisture content of watersheds), a significant role in the formation of great damage from floods was played by high population, economic development and development features of flooding areas of the Iya and Uda river valleys. The floods damage in Biryusinsk is less, despite the frequent observation of water levels above the critical level due to the city location on elevated area of the right-bank terraces of the Biryusa river.

Keywords: rainfall floods, digital elevation model, flooding zones, hazard, towns of the Irkutsk region.

For citation: Parygina E.A., Slepneva E.V., Kichigina N.V. Zoning of Towns in the Irkutsk Region According to the of Floods Danger. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2023, vol. 45, pp. 80-94. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.45.80> (in Russian)

Введение

На территории Иркутской области наиболее опасным гидрологическим явлением остаются летние дождевые паводки, которые широко распространены в бассейне р. Ангары и вызывают наводнения паводочного генезиса. Главной причиной таких наводнений является вторжение в летний сезон на территорию Иркутской области мощных циклонов. При этом в бассейне крупных левобережных притоков Ангары (реки Иркут, Китой, Ока, Ия, Уда, Бирюса и др.) почти ежегодно возникает опасность затопления хозяйственно-освоенных пойменных территорий значительного количества населенных пунктов Иркутской области, в том числе исследуемых в работе городов Тулун, Нижнеудинск и Бирюсинск¹.

Цель работы – провести зонирование малых городов Тулун, Нижнеудинск и Бирюсинск Иркутской области по степени опасности затопления при паводочных наводнениях.

К задачам исследования относятся: 1) выбор способов выделения зон затопления; 2) выбор и анализ экстремальных наводнений за период наблюдений на гидрологических постах для выделения зон затопления в городах Тулун, Нижнеудинск и Бирюсинск; 3) проведение зонирования территорий муниципальных образований «город Тулун», «город Нижнеудинск» и «город Бирюсинск» по степени опасности затопления при паводочных наводнениях.

¹ Dartmouth Flood Observatory, 1985–2019. Global Register of Large Flood Events. 2022. URL: <http://www.dartmouth.edu/~floods/> (date of access: 14.02.2022).

Объекты, исходные данные и методика исследования зон затопления

При выделении зон по степени опасности затопления исходными материалами послужили многолетние ряды данных по максимальным уровням воды на гидрологических постах (р. Ия – г. Тулун, р. Уда – г. Нижнеудинск, р. Бирюса – г. Бирюсинск), отметки нуля водомерных постов, а также критические уровни воды, предоставленные ФГБУ «Иркутское УГМС»² и «АИС ГМВО»³.

Объектами исследования стали участки бассейнов рек Ии, Уды и Бирюсы, расположенные на территории муниципальных образований «город Тулун», «город Нижнеудинск» и «город Бирюсинск».

Исследование малых городов Иркутской области по выделению зон по степени опасности затопления при паводочных наводнениях проведено в несколько этапов (рис. 1).



Рис. 1. Основные этапы определения зон по степени опасности затопления при наводнениях для городов Тулун, Нижнеудинск и Бирюсинск

На первом этапе работы собраны данные по ежегодным максимальным уровням воды на изучаемых гидрологических постах. Отобраны года без наводнений и установлены средние значения ежегодных максимальных уровней воды для определения границ низкой поймы, которые составили для гидропоста р. Бирюса – г. Бирюсинск (252,7 м), р. Ия – г. Тулун (455,01 м),

² Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. 2022. URL: <http://www.meteorf.ru/> (дата обращения: 12.02.2022)

³ Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). 2022. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения: 12.02.2022).

р. Уда – г. Нижнеудинск (403,82 м). Выявлены высшие уровни воды на гидрологических постах, характеризующие границы высокой поймы (табл. 1).

Таблица 1

Сведения по уровням воды на исследуемых гидрологических постах

Река – пункт наблюдения	Отметка нуля водомерного поста, м (Балтийская система (БС))	Критический уровень воды ($H_{кр}$), см	Критический уровень воды ($H_{кр}$), приведенный к нулю водомерного поста, м	Период наблюдений, годы	Отметка высшего уровня воды		Дата фиксации высшей отметки уровня воды, д.м.г.
					Уровень воды на водомерном посту, см	Уровень воды, приведенный к нулю водомерного поста, м	
Р. Бирюса – г. Бирюсинск	249,68	350	253,18	1929–2020	585	255,53	04.08.1960
Р. Ия – г. Тулун	448,91	700	455,91	1936–2020	1382	462,73	29.06.2019
Р. Уда – г. Нижнеудинск	401,35	320	404,55	1935–2020	507	406,42	28.06.2019

Второй этап основан на построении цифровой модели рельефа (ЦМР) и на ее основе изолиний высотных отметок для каждой территории в приложении QGIS. Предварительно в приложении QGIS был подключен модуль SRTM, который необходим для создания цифровых моделей рельефа исследуемых участков рек. Использовались данные SRTM⁴, которые уже прошли процедуры заполнения сбойных пикселей, сглаживание, заполнение депрессий, взаимоувязки с гипсометрией топографических карт масштаба 1:100 000–1:200 000. Изолинии высотных отметок рельефа строились через 1 м. Данный интервал взят для удобства точного выделения необходимых для анализа форм рельефа речной долины.

При этом оценка точности высот SRTM проведена путем сопоставления высот на топографической карте и в модели SRTM. В пределах изучаемых муниципальных образований рассматривалось расхождение отметок ЦМР по данным SRTM и высотных отметок Балтийской системы (БС) по разгруженным топоосновам, опубликованным в агрегаторе SAS Planet. Высотные отметки, зафиксированные на топооснове, сравнивались с соответствующими точками на SRTM, для каждой такой пары точек вычислено расхождение их значений. Всего сравнивалось 20 высотных отметок. Среднее отклонение высотных отметок по ЦМР от отметок топоосновы составило для города Тулуна –0,75 м, для города Нижнеудинска отмечалось –0,1 м. Границы зон затопления для городов Тулун и Нижнеудинск определялись с учетом этих расхождений. В пределах города Бирюсинска количество высотных отметок по топооснове оказалось недостаточным (две точки) для анализа расхожде-

⁴ Viewfinder Mountain Top Horizon Maps. Update: 26.03.2021. URL: <http://www.viewfinderpanoramas.org> (date of access: 01.03.2022); EarthExplorer. 2022. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (date of access: 24.03.2022).

ний с высотными отметками по ЦМР, поэтому использовались отметки, определенные только по ЦМР.

На третьем этапе проведен анализ геоморфологического строения изучаемых местностей. На основе полученных изолиний выделялись территории, относящиеся к низкой и высокой пойме, 1-й надпойменной террасе, ко всем остальным террасам, склонам и водораздельным поверхностям.

Во время заключительного четвертого этапа проводилось зонирование исследуемых территорий. Зоны по степени опасности затопления устанавливались по выделенным формам рельефа речных долин рек Ия, Уда и Бирюса. Границы зон затопления были определены с использованием функционала QGIS по данным итоговой высотной модели местности, значений максимальных уровней на гидрологических постах, а также по спутниковым снимкам.

При выделении границ зон затопления учитывались уклоны водной поверхности, которые представляют собой отношение разности высотных отметок в начале и в конце участка (падение реки) к общей длине исследуемого участка [Самохин, 1980]. В пределах рассматриваемых муниципальных образований имеется по одному гидрологическому посту с привязкой к системе высот. В связи с этим уклон учитывался через внесение поправок на падение реки в местах пересечения ее русла горизонталями. Поправка соответствовала разности отметок соседних горизонталей (1 м), а граница зоны затопления, соответственно, смещалась на соседнюю горизонталь. По результатам анализа цифровой модели рельефа в границах города Тулуна уклон водной поверхности р. Ия составил – 0,33%, р. Уды в границах г. Нижнеудинска – 0,84%, р. Бирюсы в границах г. Бирюсинска – 0,25%.

Способы выделения зон затопления

В работе применялись два способа выделения зон затопления – по спутниковым снимкам местности [Nozarpour, Gharechelou, Rafiei, 2021; Comparison and improvement ... , 2012; Flood hazard ... , 2014] и цифровой модели рельефа. Сервисы EarthExplorer⁵ и LandViewer⁶ позволили подобрать все необходимые для исследования спутниковые снимки изучаемых территорий.

Выделение границ зон затопления по спутниковым снимкам местности эффективно лишь при использовании снимков, на которых были зафиксированы периоды пика экстремального наводнения редкой обеспеченности, как например, паводочное наводнение 2019 г. Следует отметить слабые стороны данного метода: 1) зависимость от наличия спутниковых снимков за конкретные даты во время наводнения; 2) разрешение спутниковых снимков, находящихся в свободном доступе, не всегда позволяет выделить границу зоны затопления; 3) часто спутниковые снимки за необходимую дату имеют высокий процент покрытия облачностью и нужную информацию с таких снимков получить не удастся [Парыгина, Слепнева, 2022].

⁵ EarthExplorer. 2022. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (date of access: 24.03.2022).

⁶ LandViewer. 2021. URL: <https://eos.com/ru/products/landviewer/> (date of access: 21.06.2021).

Цифровая модель рельефа позволяет более точно провести границу зоны затопления по высотным отметкам наивысшего уровня воды на гидрологическом посту в пик наводнения. При использовании данного метода необходимо учитывать уклоны водной поверхности изучаемых территорий.

Обзор наводнений, рассматриваемых при выделении зон затопления

Анализ данных по уровням воды за весь период наблюдений на гидрологических постах выявил, что за период с 1935 по 2019 г. на гидрологическом посту р. Уда – г. Нижнеудинск наивысший уровень воды наблюдался в 2019 г. и составил 507 см. Для гидрологического поста р. Ия – г. Тулун данные имеются с 1936 по 2019 г., где наивысший уровень воды также был зафиксирован в 2019 г. – 1382 см. Для города Бирюсинска максимальный уровень воды в пик наводнения 2019 г. оказался не самым высоким. Так, за период наблюдений с 1929 по 2019 г. наивысший уровень воды отмечался 4 августа 1960 г. и составил 585 см, но после 1960 г. – выше 500 см не поднимался, и только в 2019 г. была достигнута высокая отметка уровня воды в 554 см.

Наивысшие из максимальных уровней воды за период наблюдений на гидрологических постах взяты за основу при выделении зон затопления. В Тулуе и Нижнеудинске – это максимальный уровень при наводнении в 2019 г., а в г. Бирюсинске – максимальный уровень при наводнении в 1960 г. Ниже дана характеристика этих экстремальных наводнений.

Наводнение 1960 г. в городе Бирюсинске возникло в результате выпадения интенсивных ливневых осадков фронтального происхождения с 30 июля по 5 августа (рис. 2).

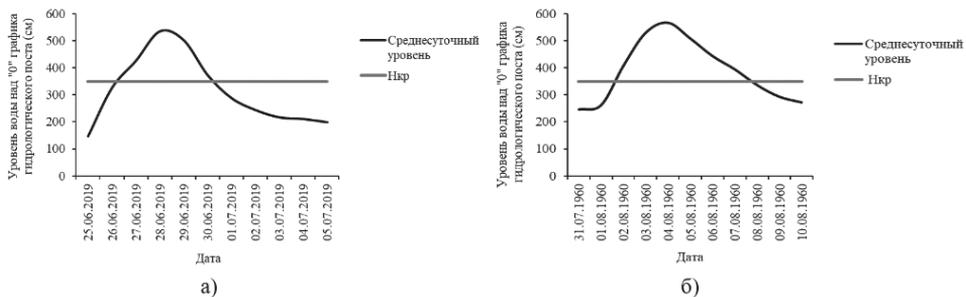


Рис. 2. Графики уровней воды на гидрологическом посту р. Бирюса – г. Бирюсинск: а) 25.06–05.07.2019, б) 31.07–10.08.1960

Наиболее сильные дожди пришлось на западную часть Восточного Саяна и охватили в большей степени бассейн р. Бирюсы. Уровень воды по долине Бирюсы поднимался в среднем на 4–5 м [Таратунин, 2008]. Уровни воды выше критической отметки наблюдались в течение 6 дней с 02.08 по 07.08.1960.

В 2019 г. над территорией Иркутской области прошел мощный циклон, приведший к возникновению сильных паводков на реках Ия, Уда, Бирюса и др. В ночь на 25 июня над Восточной Сибирью наблюдалось прохождение холодного фронта, который привел к оживлению циклонической деятельности. Над южными районами Иркутской области фронтальный раздел между теплыми и холодными воздушными массами достиг своего пика активности, что привело к выпадению сильных ливневых дождей [Спутниковый мониторинг экстремального ... , 2020]. Прохождение паводковой волны по левобережным притокам Ангары началось с рек Бирюса и Уда. Первые превышения отметок критического уровня воды начали фиксировать с 26 июня на южных гидрологических постах данных рек. Выпавшие дожди в период с 25 по 27 июня превысили месячную норму в 1,5-4 раза. С 27 по 30 июня наблюдалась волна мощных наводнений, которые возникли в результате резкого повышения уровня воды и стали причиной затопления населенных пунктов, расположенных в поймах рек Ия, Уда, Бирюса и др. [Мониторинг наводнения ... , 2019]. Наивысшие уровни воды во время пика наводнения для городов Нижнеудинск и Бирюсинск были отмечены 28 июня, для г. Тулуна – 29 июня.

Резкое повышение уровней воды выше критических значений в течение 4–7 дней на реках Ия, Уда стало одной из причин катастрофических наводнений в городах Тулун и Нижнеудинск. Июньское наводнение на территории города Тулуна длилось 7 дней с 27.06 по 03.07, в течение которых уровни воды держались выше критической отметки (уровень воды выше 1000 см не спадал 3 дня). В Нижнеудинске уровни воды выше критической отметки наблюдались 4 дня (с 26.06 по 29.06) (рис. 3). На территории Бирюсинска высокие уровни воды наблюдались также 4 дня – с 27.06 по 30.06, но не превысили максимума 1960 г. (см. рис. 2).

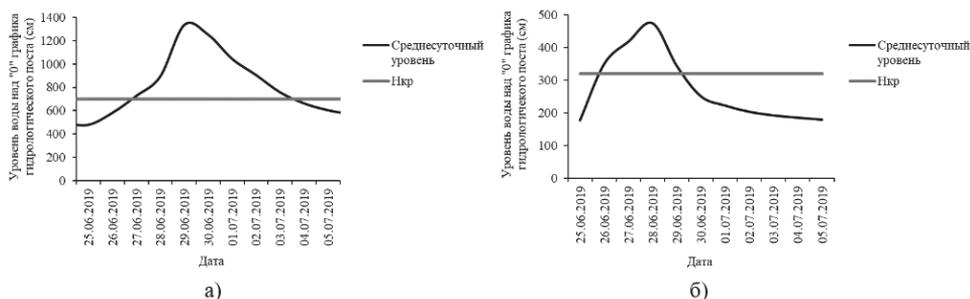


Рис. 3. Графики уровней воды за 25.06–05.07.2019 г. на гидрологических постах: а) р. Ия – г. Тулун, б) р. Уда – г. Нижнеудинск

Графики уровней воды составлены по данным ФГБУ «Иркутское УГМС»⁷ и «АИС ГМВО»⁸.

⁷ Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. 2022. URL: <http://www.meteorf.ru/> (дата обращения: 12.02.2022)

⁸ Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). 2022. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения: 12.02.2022).

От разрушительных паводков в июне-июле 2019 г., которые прошли на левых притоках р. Ангары – Ия, Уда, Ока, Бирюса, пострадали 8 районов Иркутской области, затоплено более 100 населенных пунктов. Основной удар стихии с тяжелейшими последствиями пришелся на г. Тулун. Поток воды снес целые улицы деревянных домов, а многоэтажные здания затопило до третьего этажа. В г. Тулуно в зоне затопления оказалось 10 739 чел., 3056 домов, 290 га застройки, в г. Нижнеудинске – 16 932 чел., 3798 домов. Ущерб оценен в 31,2 млрд руб. [Цена наводнения ... , 2019]. Гидрологическая ситуация 2019 г. была очень редкая по размаху (превышены исторические максимумы уровней воды в районе Тулуна и Нижнеудинска) и последствиями (26 погибших и огромные разрушения).

Данный пример показывает, что экстремальное наводнение может привести к серьезным последствиям: наносится материальный ущерб населенным пунктам, сельскохозяйственным угодьям и даже приводит к гибели людей [Stefanidis, Stathis, 2013]. Помимо вышеперечисленного, ущерб может наноситься и городской инфраструктуре, которая включает электросети, водоснабжение, теплоснабжение, транспортную инфраструктуру и др. [Urban flood impact ... , 2015; Critical national infrastructure ... , 2006].

Основные причины катастрофического наводнения 2019 г. в городах Тулун и Нижнеудинск:

- 1) интенсивные и обильные дожди, возникшие в результате оживления циклонической деятельности;
- 2) высокая предшествующая увлажненность водосборов рек Ия и Уда;
- 3) высокая заселенность и хозяйственная освоенность пойменных участков речных долин, подверженных периодическим затоплениям;
- 4) особенности застройки (застройка опасных территорий частными жилыми зданиями, объектами производственного назначения, транспортной инфраструктурой и др.).

Те же самые причины возникновения наводнений присущи и г. Бирюсинску. Однако масштабы и последствия затопления здесь значительно меньше, так как большая часть муниципального образования «город Бирюсинск» располагается на правобережных террасах и склоновых поверхностях долины р. Бирюсы [Парыгина, 2022].

Результаты исследования

Разработка карт исследуемых участков рек с границами зон затопления является наиболее широко используемым подходом к оценке опасности наводнений [Shalikovskiy, Kurganovich, 2017; Erena, Worku, Paola, 2018; Risi, Jalayer, Paola, 2015].

Изучение максимальных отметок затопления и рельефа исследуемых в работе местностей позволило выделить для каждого населенного пункта 4 зоны, характеризующиеся разной степенью опасности затопления при паводочных наводнениях. У всех населенных пунктов в границы зон опасности входят схожие элементы строения речной долины:

1) зона высокой опасности занимает территорию низкой поймы. Данная территория характеризуется ежегодными затоплениями, так как располагается в непосредственной близости к руслу реки. Граница выделена по среднему значению максимальных уровней воды за исследуемый период наблюдений на гидрологических постах без учета годов с наводнениями, при которых затапливается высокая пойма;

2) зона средней опасности располагается в пределах высокой поймы. Выделена по значению наивысшего уровня воды на гидрологическом посту. Участки высокой поймы затапливаются в периоды высокой водности реки при прохождении интенсивных и обильных паводков;

3) зона низкой опасности представляет собой первые надпойменные террасы рек. Здесь возможны лишь подтопления подвальных помещений, расположенных в непосредственной близости к границе высокой поймы, что связано с повышением уровня грунтовых вод во время наводнения;

4) зона отсутствия опасности включает все последующие террасы, склоны и водораздельные поверхности. Здесь затопления невозможны из-за высокого расположения данных территорий по отношению к руслу реки.

Территория муниципального образования «город Тулун» включает (рис. 4):

1) зону высокой опасности с границами до 454,25–457,25 м;

2) зону средней опасности, проведенной до отметок 462,25–467,25 м (июньское наводнение 2019 г.). Высокая пойма для р. Курзанка (левый приток р. Ии, расположенный в северных границах муниципального образования) проведена до отметки 473 м;

3) зону низкой опасности с высотными отметками до 486 м;

4) зону отсутствия опасности с максимальными отметками высот 602–609 м.

Площадь муниципального образования составляет 125,4 км², низкой поймы – 5,6 км², высокой поймы – 15,3 км², территории с низкой опасностью и с отсутствием опасности – 104,5 км².

На территории муниципального образования «город Нижнеудинск» выделены следующие зоны (рис. 5):

1) зона высокой опасности выделена до отметок 393,9–413,9 м;

2) зона средней опасности проведена до 395,9–415,9 м (июньское наводнение 2019 г.);

3) зона низкой опасности простирается до отметок 431–433 м;

4) зона отсутствия опасности с максимальными отметками высот 485–532 м.

Площадь муниципального образования – 142,6 км², низкой поймы – 51,6 км², высокой поймы – 17,2 км², территории с низкой опасностью и отсутствием опасности – 73,8 км².

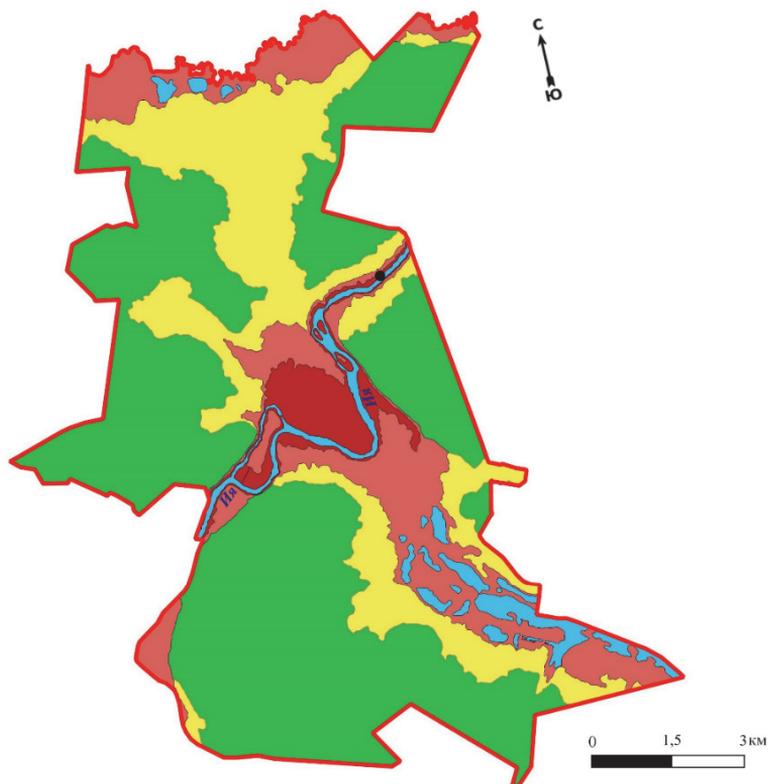
В границы муниципального образования «город Бирюсинск» входят (рис. 6):

1) зона высокой опасности с высотными отметками 252–253 м;

2) зона средней опасности проведена до 255–256 м (наводнение в августе 1960 г.);

3) зона низкой опасности простирается до отметки 280 м;

4) зона отсутствия опасности с максимальными отметками высот 327–331 м.



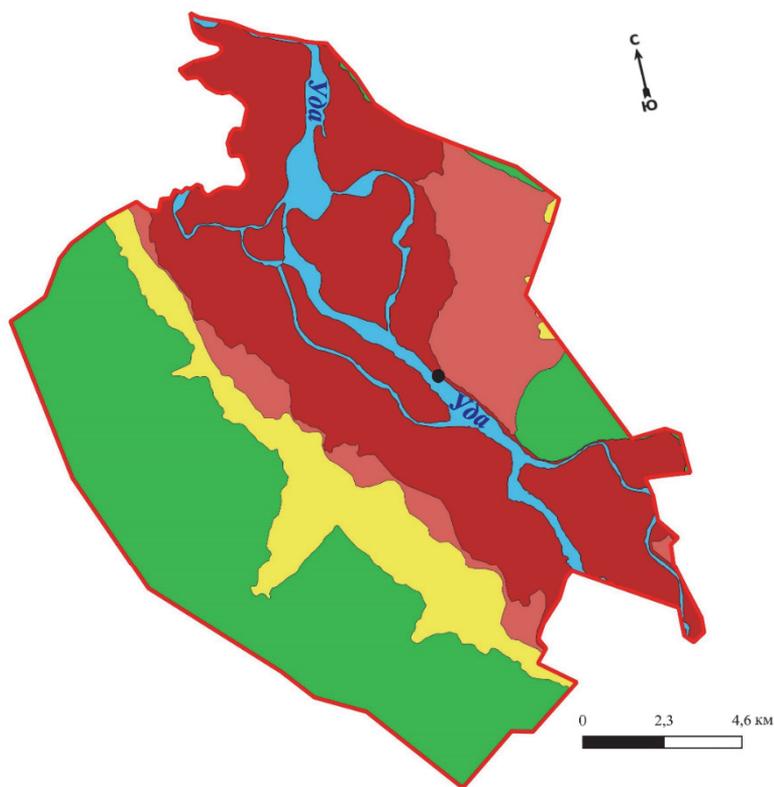
Условные обозначения

- Граница муниципального образования «г. Тулуна»
- Гидрологические объекты
- Гидрологический пост

Степени опасности затопления при наводнениях

- высокая
- средняя
- низкая
- отсутствие опасности

Рис. 4. Зонирование г. Тулуна по степени опасности затопления



Условные обозначения

- Граница муниципального образования «г. Нижнеудинск»
 - Гидрологические объекты
 - Гидрологический пост
- Степени опасности затопления при наводнениях
- высокая
 - средняя
 - низкая
 - отсутствие опасности

Рис. 5. Зонирование г. Нижнеудинска по степени опасности затопления

Площадь муниципального образования – 41,1 км², низкой поймы – 17,5 км², высокой поймы – 1,7 км², территории с низкой опасностью и отсутствием опасности – 21,9 км².

Таким образом, обработка цифровой модели рельефа и построенных на ее основе изолиний высотных отметок позволило выделить элементы речных долин Ии, Уды и Бирюсы на территории городов Тулун, Нижнеудинск и Бирюсинск, и провести зонирование с выделением четырех зон, характеризующихся разной степенью опасности затопления.

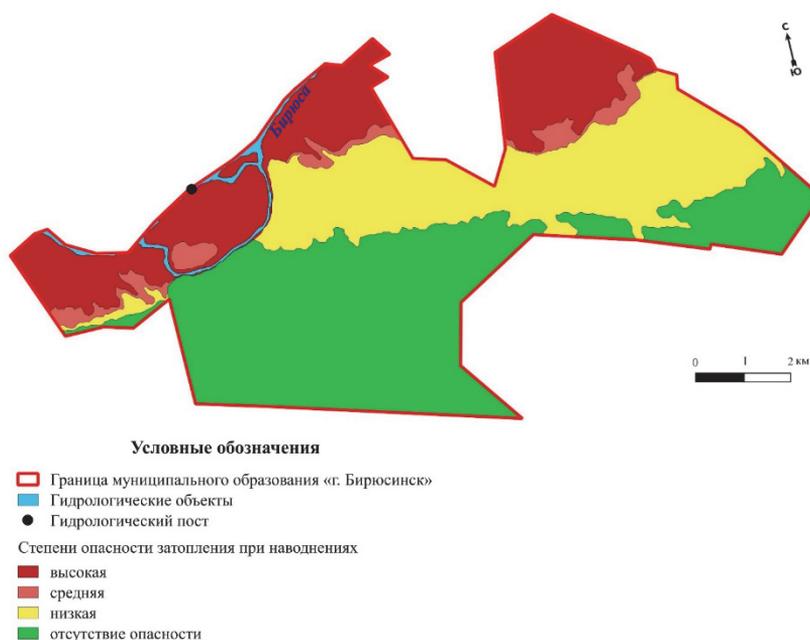


Рис. 6. Зонирование г. Бирюсинска по степени опасности затопления

Заключение

Примененные способы выделения границ зон затопления по спутниковым снимкам местности и цифровой модели рельефа, а также проведенный сравнительный анализ использованных способов картографирования показали, что более эффективным способом является цифровая модель рельефа, которая позволяет детальнее и точнее выделить зоны затопления.

Рассмотренный нами подход позволил выделить зоны затопления в наиболее уязвимых малых городах Иркутской области, оперируя только доступными в открытых источниках данными спутниковых снимков, ЦМР и данными об уровнях воды на гидрологических постах. При этом в том числе используется именно первоисточник – оцифрованная граница фактического затопления при наводнении редкой обеспеченности, взятая со спутникового снимка. Граница затопления по ЦМР при максимальном уровне на гидрологическом посту р. Ия – г. Тулун в 2019 г. практически совпала с границей фактического затопления по спутниковому снимку за 29.06.2019 (пик паводка)⁹. Полученное зонирование достаточно информативно и в научно-исследовательских целях дает представление о структуре зоны затопления, напрямую связанной с физико-географическими условиями расположения выбранных малых городов, как при наводнениях редкой обеспеченности, так и при небольших, но более частых наводнениях. В дальнейшем на основе зонирования планируется изучить социально-экономический аспект затоп-

⁹ LandViewer. 2021. URL: <https://eos.com/ru/products/landviewer/> (date of access: 21.06.2021)

ления данных городов, а именно – расположение объектов и земель различных категорий в пределах зон затопления с оценкой возможных ущербов при их затоплении.

Анализ основных причин, а также структура зоны затопления во время катастрофического дождевого наводнения 2019 г. в городах Тулуне и Нижнеудинске свидетельствуют о том, что наряду с гидроклиматическими факторами (интенсивные и обильные осадки, высокая предшествующая увлажненность водосборов), значительную роль в формировании больших ущербов и разрушений от наводнения сыграла высокая заселенность, хозяйственная освоенность и особенности застройки паводкоопасных территорий речных долин река Ия и Уда. Бирюсинск подвергается меньшим затоплениям и последствиям несмотря на частое фиксирование уровней воды выше критического на гидрологическом посту р. Бирюса – г. Бирюсинск ввиду расположения территории города на возвышенных участках правобережных террас долины р. Бирюсы.

Зонирование территорий муниципальных образований «город Тулун», «город Нижнеудинск» и «город Бирюсинск» по степени опасности затопления при наводнениях с выделением четырех зон (зона высокой степени опасности, средней степени, низкой степени и отсутствия опасности) показало, что для застройки городов и ведения любой хозяйственной деятельности предназначены территории с низкой степенью опасности и с отсутствием угрозы. Наибольший риск от наводнений наблюдается в зонах высокой и средней степени опасности затопления.

Список литературы

Парыгина Е. А. Причины возникновения наводнений в малых городах Иркутской области (бассейн реки Ангары) // Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о Земле: теоретические и прикладные аспекты. Кемерово. 2022. С. 70–73.

Парыгина Е. А., Слепнева Е. В. Установление границ зон затопления с использованием ГИС и пространственного анализа спутниковых снимков (на примере малых городов Иркутской области) // Географические науки и образование. Астрахань. 2022. С. 112–117.

Самохин А. А., Соловьева Н. Н., Догановский А. М. Практикум по гидрологии. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 296 с.

Спутниковый мониторинг экстремального наводнения в Иркутской области 2019 года / А. Е. Воронова [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 1. С. 263–266. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-1-263-266>

Таратунин А. А. Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург: Изд-во ФГУП РосНИИВХ, 2008. 432 с.

Цена наводнения. Interfax-Russia.ru. 2019. URL: <http://www.interfax-russia.ru/Siberia/view.asp?id=1058665> (дата обращения: 12.09.2022).

Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery / F. Sun, W. Sun, J. Chen, P. Gong // International Journal of Remote Sensing. 2012. Vol. 33, N 21. P. 6854–6875. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.692829>

Critical national infrastructure reliability modeling and analysis / S. H. Conrad, R. J. LeClaire, G. P. O'Reilly, H. Uzunalioglu // Bell Labs Technical Journal. 2006. Vol. 11, N 3. P. 57–71. <https://doi.org/10.1002/bltj.20178>.

Erena S. H., Worku H., Paola F. D. Flood hazard mapping using FLO-2D and local management strategies of Dire Dawa city, Ethiopia // Journal of Hydrology: Regional Studies. 2018. Vol. 19. P. 224–239. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.09.005>

Flood hazard and flood risk assessment using a time series of satellite images: a case study in Namibia / S. Skakun, N. Kussul, A. Shelestov, O. Kussul // *Risk Analysis*. 2014. Vol. 34, N 8. P. 1521–1537. <https://doi.org/10.1111/risa.12156>

Nozarpour N., Gharechelou S., Rafiei F. Flood zoning using Sentinel 1-2 and Landsat-8 data in Khuzestan province. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/356378448_Flood_zoning_using_Sentinel_1-2_and_Landsat-8_data_in_Khuzestan_province (date of access: 21.03.2022)

Risi R. D., Jalayer F., Paola F. D. Meso-scale hazard zoning of potentially flood prone areas // *Journal of Hydrology*. 2015. Vol. 527. P. 316-325. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.070>

Shalikovskiy A., Kurganovich K. Flood hazard and risk assessment in Russia // *Natural Hazards*. 2017. Vol. 88. P. 133–147. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2681-6>

Stefanidis S., Stathis D. Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP) // *Natural Hazards*. 2013. Vol. 68. P. 569–585. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0639-5>

Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review / M. J. Hammond [et al.] // *Urban Water Journal*. 2015. Vol. 12, N 1. P. 14–29. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.857421>

References

Parygina E.A., Slepneva E.V. Ustanovlenie granic zon zatopleniya s ispolzovaniem GIS i prostranstvennogo analiza sputnikovyh snimkov (na primere malyh gorodov Irkutskoj oblasti) [Establishing the boundaries of flood zones using GIS and spatial analysis of satellite images (on the example of small towns in the Irkutsk region)]. *Geograficheskie nauki i obrazovanie* [Geographic Sciences and Education], 2022, pp. 112-117. (in Russian)

Parygina E.A. Prichiny vozniknoveniya navodnenij v malyh gorodah Irkutskoj oblasti (bassejn reki Angary) [Causes of floods in small towns of the Irkutsk region (the Angara river basin)]. *Mezhdisciplinarnye podhody v biologii, medicine i naukah o Zemle: teoreticheskie i prikladnye aspekty* [Interdisciplinary approaches in biology, medicine and geosciences: theoretical and applied aspects], 2022, pp. 70-73. (in Russian)

Samohin A.A., Solovieva N.N., Doganovskij A.M. *Praktikum po gidrologii* [Practical work on hydrology]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980, 296 p. (in Russian)

Voronova A.E., et al. Sputnikovyy monitoring ekstremalnogo navodneniya v Irkutskoj oblasti 2019 goda [Satellite observation of extreme flooding in the Irkutsk region in 2019]. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern Problems of remote sensing of the Earth from Space], 2020, vol. 17, no. 1, pp. 263-266. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-1-263-266>. (in Russian)

Taratonin A.A. *Navodneniya na territorii Rossijskoj Federacii* [Floods in the Russian Federation]. Ekaterinburg, FGUP RosNIIVH Publ., 2008, 432 p. (in Russian)

Cena navodneniya. *Interfax-Russia.ru* [The price of a flood]. 2019. Available at: <http://www.interfax-russia.ru/Siberia/view.asp?id=1058665> (data of access: 12.09.2022). (in Russian)

Sun F., Sun W., Chen J., Gong P. Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 2012, vol. 33, no. 21, pp. 6854-6875. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.692829>

Conrad S.H., LeClaire R.J., O'Reilly G.P., Uzunalioglu H. Critical national infrastructure reliability modeling and analysis. *Bell Labs Technical Journal*, 2006, vol. 11, no. 3, pp. 57-71. <https://doi.org/10.1002/bltj.20178>

Erena S.H., Worku H., Paola F.D. Flood hazard mapping using FLO-2D and local management strategies of Dire Dawa city, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2018, vol. 19, pp. 224-239. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.09.005>

Skakun S., Kussul N., Shelestov A., Kussul O. Flood hazard and flood risk assessment using a time series of satellite images: a case study in Namibia. *Risk Analysis*, 2014, vol. 34, no. 8, pp. 1521-1537. <https://doi.org/10.1111/risa.12156>

Nozarpour N., Gharechelou S., Rafiei F. *Flood zoning using Sentinel 1-2 and Landsat-8 data in Khuzestan province*. 2021. Available at: https://www.researchgate.net/publication/356378448_Flood_zoning_using_Sentinel_1-2_and_Landsat-8_data_in_Khuzestan_province (date of access: 21.03.2022).

Risi R.D., Jalayer F., Paola F.D. Meso-scale hazard zoning of potentially flood prone areas. *Journal of Hydrology*, 2015, vol. 527, pp. 316-325. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.070>

Shalikovskiy A., Kurganovich K. Flood hazard and risk assessment in Russia. *Natural Hazards*, 2017, vol. 88, pp. 133-147. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2681-6>

Stefanidis S., Stathis D. Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). *Natural Hazards*, 2013, vol. 68, pp. 569-585. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0639-5>.

Hammond M.J., Chen A.S., Djordjevic S., Butler D., Mark O. Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. *Urban Water Journal*, 2015, vol. 12, no. 1, pp. 14-29. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.857421>

Сведения об авторах

Парыгина Елизавета Александровна
студент, географический факультет
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: lizavetaparygina@yandex.ru

Слепнева Елена Валерьевна
кандидат географических наук, доцент
кафедра географии, картографии и
геосистемных технологий
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: physgeo@geogr.isu.ru

Кичигина Наталья Витальевна
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория гидрологии и климатологии
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: nkichigina@mail.ru

Information about the authors

Parygina Elizaveta Aleksandrovna
Student, Faculty of Geography
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: lizavetaparygina@yandex.ru

Slepneva Elena Valeryevna
Candidate of Sciences (Geography), Associate
Professor, Department of Geography,
Cartography and Geosystem Technology
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: physgeo@geogr.isu.ru

Kichigina Natalia Vitalievna
Candidate of Sciences (Geography),
Senior Research Scientist
Laboratory of hydrology and climatology
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033
Russian Federation
e-mail: nkichigina@mail.ru

Коды научных специальностей: 1.6.12, 1.6.16

Статья поступила в редакцию **30.11.2022**; одобрена после рецензирования **01.06.2023**; принята к публикации **11.09.2023**

The article was submitted **November, 30, 2022**; approved after reviewing **June, 01, 2023**; accepted for publication **September, 11, 2023**