

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ГОРОДСКОГО ОКРУГА ГОРОД ЕЛЕЦ

Д. Е. Дюкарев, В. А. Дмитриева

*Воронежский государственный университет, пл. Университетская, 1,
394036, Воронеж, Российская Федерация, verba47@list.ru, d-dukarev@yandex.ru*

Верхняя часть бассейна р. Дон, включая г. Елец, не испытывает катастрофических подъемов уровня воды с последней трети прошлого века, однако события в Оренбургской области показывают, что это возможно при определенных условиях. Исследование в ГИС привело к созданию модели затопления, определению площади затопления, а также возможной оценке ущерба для городской инфраструктуры.

Ключевые слова: зона затопления; расчетная обеспеченность; кривые обеспеченности; Липецкая область; ГИС-технологии.

PREDICTION AND MODELING OF FLOODING ZONES OF THE CALCULATED PROBABILITY IN THE CITY DISTRICT OF YELETS

D. E. Dyukarev, V. A. Dmitrieva

*Voronezh State University, Universitetskaya Sq., 1,
394036, Voronezh, Russian Federation, verba47@list.ru, d-dukarev@yandex.ru*

The upper part of the Don River basin, including the city of Yelets, has not experienced catastrophic rises in water levels since the last third of the last century. However, events in the Orenburg region indicate that this is possible under certain conditions. The GIS study led to the creation of a flooding model, the determination of flooded areas, and a potential future assessment of damage to urban infrastructure.

Keywords: flood zone, calculated reliability, reliability curves, Lipetsk region, GIS.

Половодье – весенняя фаза водного режима европейских рек, с последней трети прошлого столетия отличается невысокими объемами, относительно низкими максимальными расходами и уровнями воды [5, 7, 8], не представляющими потенциальной угрозы образования наводнений. В бассейне Дона, начиная с 2007 года и по настоящее время, установилось маловодье с исторически минимальными значениями снегового половодья в 2020 году. Но в тоже время, гидрологические события на реках Урал, Тобол, Ишим, Илек и других в апреле 2024 года показали, что при опре-

деленных сочетаниях природно-метеорологических факторов могут образоваться катастрофические наводнения с редкой повторяемостью 1 раз в 100 лет. Наводнения являются одним из наиболее разрушительных природных явлений, охватывающих все континенты земного шара. Ежегодно сотни людей становятся жертвами их последствий, а общие убытки достигают десятков миллиардов долларов. Несмотря на это, до недавнего времени недостаточно внимания уделялось как учету самих наводнений, так и прогнозированию их риска для населения [2, 4].

Весеннее половодье в России является причиной около 80 % случаев наводнений [2]. И хотя бассейн Дона, по мнению Н.И. Коронкевича и др., не относится к районам с опасными катастрофическими наводнениями, но высокие половодья весьма вероятны и затопления возможны при подъемах уровней воды на 2-3 м выше среднего значения [9]. Опасные подъемы расходов и уровней воды в бассейне Дона, приведшие к затоплениям больших площадей, наблюдались в 1970 году. В этом же году на гидрологическом посту р. Сосна – г. Елец был достигнут исторически максимальный уровень воды в реке – 14,3 м БС (рис. 1). Он превысил максимум 1942 года.

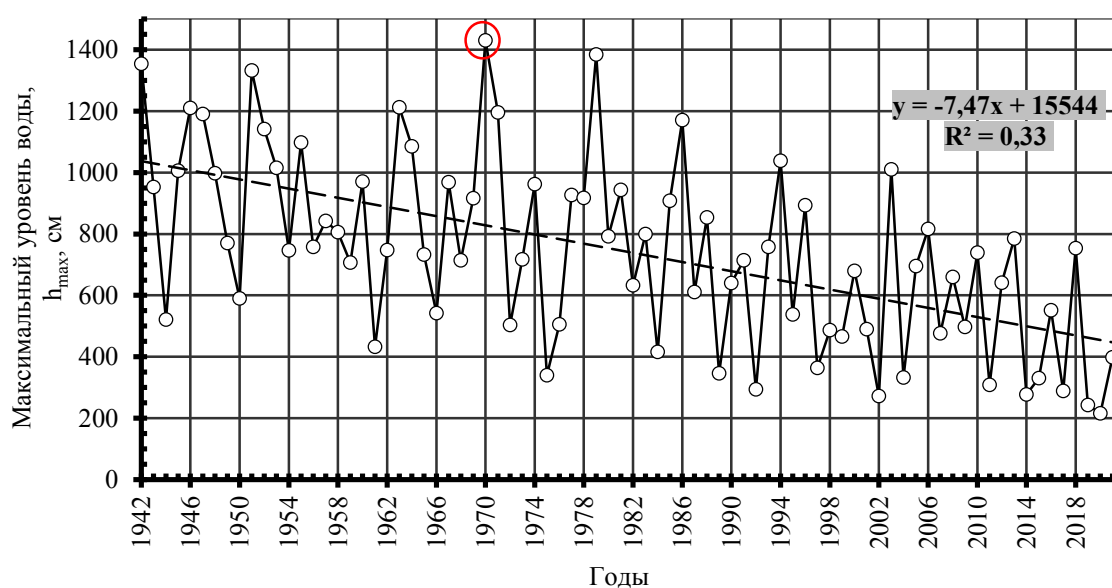


Рис. 1. Хронологический график максимальных расходов весеннего половодья р. Сосна – г. Елец за 1942–2021 гг.

Поскольку природные процессы цикличны, то вероятность того, что наводнения уровня 1970-го года на р. Сосна – г. Елец могут повториться и иметь уровень даже выше, чем прежде, высока.

В настоящее время мы можем статистически рассчитывать максимальный уровень воды в период весеннего половодья различной вероятности превышения (обеспеченности). Данная информация, представленная в картографическом виде, имеет большую наглядность и ценность. Благодаря развитию цифровых моделей рельефа и геоинформационных систем прогнозирование потенциальных зон затопления и их картографическое представление стало вполне реальным. Используя их, возможно смоделировать зону затопления, определить ее площадь, а также выявить районы и конкретные объекты, подверженные воздействию воды.

Цель настоящего исследования заключается в определении отметок уровней воды и зон затопления водами весеннего половодья с вероятностью превышения (обеспеченностью) 0,1, 1 и 5 % в городском округе Елец, а также в анализе полученных результатов и их визуализации в виде карт с использованием ГИС-технологий.

Базовые материалы исследования представляют ряды максимальных уровней воды р. Сосна – г. Елец за период с 1970 по 2021 год. Выборка с 1970 года начинается неслучайно. 1970-е годы являются началом глобального изменения климата, проявившиеся и в региональном масштабе. Климатическая динамика в совокупности с усилившейся антропогенной нагрузкой в бассейне реки Сосна привели к трансформации элементов водного режима, в частности, максимального уровня воды. Для обеспечения независимости и однородности элементов ряда, а также репрезентативности выборки, было принято решение сократить ее объем и использовать в расчетной схеме не весь ряд наблюдений с 1927 года, а его часть, с 1970 по 2021 годы.

Одним из **методов** определения зон затопления средствами ГИС является метод превышений [3]. Для выявления затопленной территории используются цифровая модель рельефа SRTM (30 м), описанная в СТО ГГИ 52.08.48–2020 и рекомендованная для визуализации гидрологических объектов, и модель секущей плоскости водной поверхности при подъеме уровня воды на заданную высоту [1]. Секущая плоскость должна также учитывать уклон реки, но из-за того, что нами берется малая территория по площади, этим условием можно пренебречь.

Для расчета максимальных уровней воды р. Сосна – г. Елец использовались одна эмпирическая и две аналитические кривые обеспеченности: Пирсона III типа и Крицкого-Менкеля (рис. 2). Данные кривые рекомендуются к использованию в СП 33-101-2003 и СП 529.1325800.2023 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик».

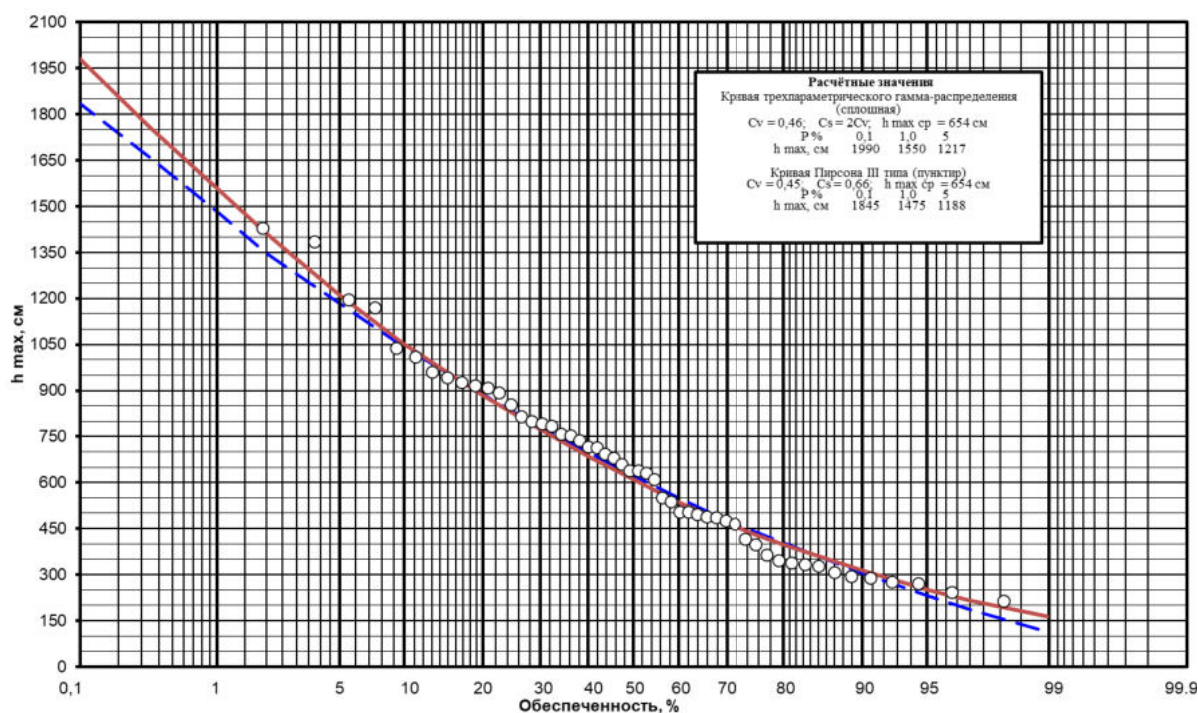


Рис. 2. Кривая обеспеченности максимальных уровней воды
р. Сосна – г. Елец за 1970–2021 гг.

Проанализировав рисунок 2, можно отметить, что между эмпирической кривой и кривой трехпараметрического гамма-распределения Крицкого-Менкеля есть наибольшее пересечение, поэтому значения с вероятностью 0,1, 1 и 5% сняты с данной кривой. Значения максимальных уровней воды, снятые с кривой трехпараметрического гамма-распределения, занесены в таблицу. Далее рассчитана сумма высоты гидрологического пункта от уровня моря и максимального уровня воды расчетной вероятности. Расчетные значения приведены в таблице.

Расчетные значения 0,1; 1 и 5 % обеспеченности максимального уровня воды

Код пункта наблюдений	Название водного объекта и пункта наблюдений	Высота ГП, м БС	Максимальный уровень воды, см			Высота ГП + максимальный уровень воды, м БС		
			обеспеченность, %			обеспеченность, %		
			5	1	0,1	5	1	0,1
78054	р. Сосна – г. Елец	106,30	1217	1550	1990	118,47	121,80	126,20

Для расчета зоны затопления при половодье необходимо ввести в «Растровый калькулятор» соответствующее выражение [3]:

$$(H_{\text{гп}} + H_{\text{max}} - \text{DEM}) > 0,$$

где $H_{\text{гп}}$ – высота гидрологического поста над уровнем моря; H_{max} – заданная высота подъема уровня воды; DEM – цифровая модель рельефа.

В нашей работе приведена исправленная формула, результатом вычисления по которой является созданный бинарный растр, где значение «1» соответствует затопленной территории, а «0» – незатопленной.

Растр, полученный в предыдущем шаге, был преобразован в полигон и сглажен. После этого, с помощью инструмента «Определить объект», были получены площадные значения зон затопления различной обеспеченности. Зона затопления 5 % обеспеченности равна 5,94 км², зона затопления 1 % обеспеченности – 7,57 км² и зона затопления 0,1 % обеспеченности – 17,64 км².

В работе рассчитаны площадные значения зон затопления различной обеспеченности, а результаты исследования представлены в виде карты (рис. 3).

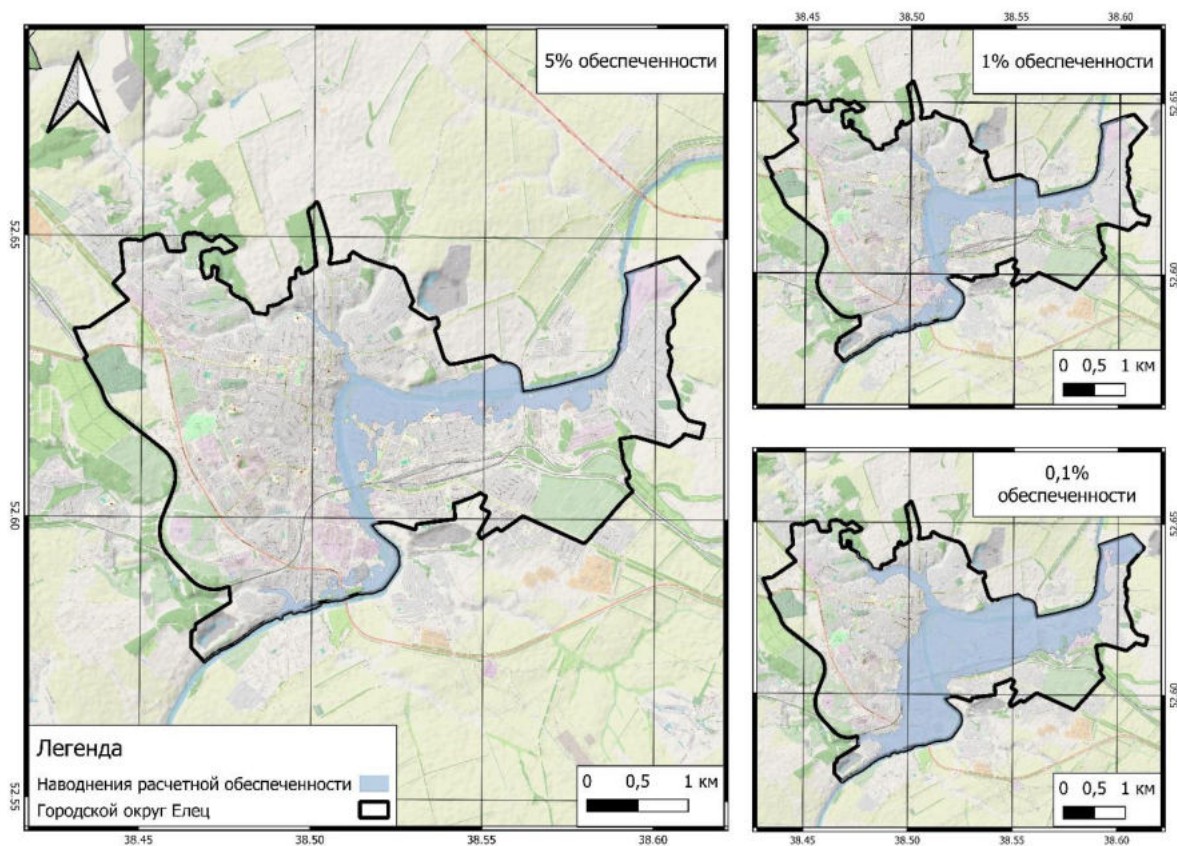


Рис. 3. Геоинформационная модель затопления территории городского округа г. Елец

В заключении можно отметить, что использование цифровых моделей рельефа и геоинформационных систем позволяет эффективно моделировать различные географические процессы, такие как зоны затопления при катастрофических половодьях. Эти инструменты предоставляют информацию, необходимую для прогнозирования возможных зон затопления, оценки их площади, а также определения числа жилых домов и промышленных объектов, подверженных воздействию экстремальных уровней воды.

Библиографические ссылки

1. *Дмитриева В. А., Дюкарев Д. Е.* Территориальные различия водообеспеченности административных районов Липецкой области. Водные ресурсы в условиях глобальных вызовов: экологические проблемы, управление, мониторинг : Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х томах, Ростов-на-Дону, 20–22 сентября 2023 года. Том 2. Новочеркасск: ООО "Лик", 2023. С. 203–208.
2. *Добровольский С. Г.* Глобальная гидрология: процессы и прогнозы / Институт водных проблем РАН; Российский фонд фундаментальных исследований. М.: ГЕОС, 2017. 526 с.
3. *Куракина Н. И., Ковчик В. С.* Картографическое моделирование гидрологических процессов подтопления территорий [Электронный ресурс] // ESRI. ArcReview : сайт. URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2020/09/29/cartographic-modeling-of-the-territory-flooding/> (дата обращения: 23.04.2024).
4. *Пьянков С. В., Шихов А. Н.* Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений. Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский ун-т, 2017. 148 с.
5. *Джамалов Р. Г., Киреева М. Б., Косолапов А. Е.* Водные ресурсы бассейна Дона и их экологические состояние : монография. М.: ГЕОС, 2017. 204 с.
6. *Дмитриева В. А.* Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющегося климата и хозяйственной деятельности. Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015. 192 с.
7. *Дмитриева В. А.* Современные изменения водного режима и морфометрии рек Верхнедонского бассейна // Известия Российской академии наук, Сер. географическая. 2020. № 1. С. 103–113.
8. *Сивохин Ж. Т., Павлейчик В. М., Чибилёв А. А.* Изменение водного режима рек бассейна реки Урал // Доклады РАН. Науки о Земле, 2019. Том 488. № 5. С. 103–107.
9. Экстремальные гидрологические ситуации / Отв. ред. Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, И. С. Зайцева. М. : ООО «Медиа-ПРЕСС», 2010. 404 с.