

Физическая география и геоэкология

УДК 911.9

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2024-3-56-70>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Е.В. Писарева, Н.Б. Прокофьева

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

В работе приведены прогнозные расчеты определения зон и возможных последствий затопления территории населённых пунктов, построенные с помощью ортофотопланов и цифровых моделей местности.

Ключевые слова: зоны затопления, ортофотопланы, цифровые модели рельефа местности.

ГИС-технологии получили широкое распространение во многих сферах человеческой деятельности, связанных с пространственным анализом и моделированием.

Спектр гидрологических приложений географических информационных систем (ГИС) чрезвычайно широк и включает получение и обработку пространственных данных, моделирование, прогнозирование и поддержку принятия решений. В настоящее время ГИС-технологии являются важнейшим инструментом, как в гидрологических исследованиях, так и в управлении водными ресурсами на различных пространственных масштабах.

Мониторинг уровней воды на водных объектах и прогнозирование их динамики является важным вопросом, особенно в период паводка и половодья, когда уровни воды рек и озёр достигают своего пика.

В целях предупреждения опасностей, связанных с затоплением населенных пунктов, органами управления Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) решается ряд задач, первостепенной из которых являются мониторинг, прогнозирование и моделирование обстановки на водных объектах. От качества их выполнения зависит своевременность проведения оповещения населения, выполнения превентивных и инженерных мероприятий, а также применения сил и средств при реагировании в случае угрозы затопления или ликвидации последствий наводнения.

© Писарева Е.В.,
Прокофьева Н.Б., 2024

В развитых странах нет существенных ограничений по доступности пространственных данных. В открытом доступе и в стандартизированном виде представлены:

- первичная посуточная и почасовая информация сетевого мониторинга по любой гидрологической, метеорологической станции за любой год;
- детальные цифровые модели рельефа (ЦМР);
- слои цифровых топографических карт, используемых в моделях стока (включая характеристики почвенно-растительного покрова и землепользования);
- гидрологические единицы, на которые делится территория и данные по параметрам этих единиц [3].

Перечисленные особенности снимают ограничения по данным и ориентируют зарубежную технологию применения ГИС на разработку алгоритмов и моделей, описывающих гидрологические процессы и их полную или частичную реализацию в форме наборов операций в ГИС.

Все развитые страны мира имеют программы по картографированию зон затопления. Яркими примерами являются: FEMA (США) и Environment Agency (Великобритания) – оба источника доступны в свободном доступе, каких-либо оплат не требуется.

В России внедрение ГИС в гидрологическую практику шло с опозданием относительно зарубежных стран. Это было связано с отсутствием открытого доступа к базовым картографическим и гидрометеорологическим данным и потребностью значительных финансовых вложений в их закупку, а также с низким уровнем информированности профессиональных гидрологов о современных возможностях ГИС-технологий [3].

Ситуация с доступностью данных начала меняться только в последние годы, когда в открытом доступе появились ЦМР и данные ДЗЗ высокого разрешения, различные карты землепользования и типов растительного покрова, оперативные данные метеонаблюдений и численные прогнозы погоды [3].

Плотность сети гидрометеорологических наблюдений в России также значительно ниже, чем в странах ЕС и США, что обуславливает высокий интерес гидрологов к методикам расчёта стока с неизученных территорий, использующим информацию по ландшафтному делению территории.

Таким образом, в России решение гидрологических задач осуществляется обычно в условиях малой плотности исходной информации о гидрологическом состоянии территории, что приводит к её усреднению.

Для минимизации последствий и предотвращения чрезвычайных ситуаций в результате половодья и паводков, необходимо осуществлять постоянный мониторинг водных объектов.

Уровень воды может достигать и превышать критические отметки, в результате чего в зоны затопления попадают хозяйственные объекты, населённые пункты, расположенные в прибрежных зонах (рис. 1), что наносит существенный ущерб экономике, а также может причинить вред здоровью людей [4].

Определение зон затоплений и размеров затапливаемых площадей в поймах больших рек только на основе инструментальных наблюдений на гидрологических постах об уровнях и расходах воды часто не представляется возможным. Космическая информация позволяет не только наблюдать развитие паводка или половодья, но и прогнозировать обстановку путем построения моделей зон затопления, оценивать причиненный ущерб.

Применение компьютерных алгоритмов обработки данных делает возможным автоматическое определение границ воды и суши, площадей затопленных земель, а также выявление территорий, находящихся в опасности из-за поднимающегося уровня воды [4].

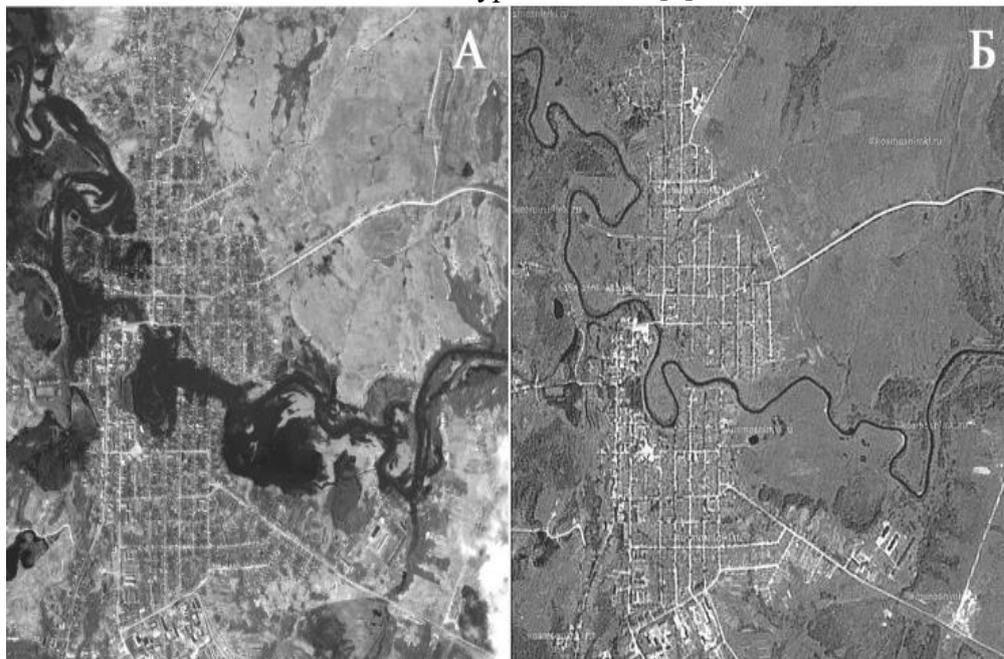


Рис. 1. Разлив р. Обши в Тверской области в апреле 2011 г. (А), меженное русло (Б) [4]

При помощи космических снимков территории можно выявлять места риска образования ледовых заторов. Также, с помощью данных дистанционного зондирования Земли (ДЗ) можно определить:

1. Распределение снеготазпасов – для прогноза максимальных уровней воды и объема речного стока, оценки увлажнения почв тальми водами, расчётов снеговой нагрузки на сооружения при проектировании зданий.

2. Гидрографические исследования – вычисление длины водотоков и положение водоразделов.

3. Гидроморфологические исследования: любая река является динамической системой. Шероховатость, геометрия, структура и профиль ее русла изменяются под влиянием наносов и различных геологических, климатических, гидрологических и антропогенных факторов.

Оценка русловых процессов наиболее эффективна с использованием космических снимков, сделанных в разное время.

4. Изучение крупных водоёмов с использованием спутниковых данных:

– определение уровня воды и температуры поверхности в водоёмах;

– оценка цветности и содержание хлорофилла;

– определение величины и направления приповерхностного ветра;

– изучение параметров волнового и ледового режима.

5. Оценка ледовой обстановки: при оценке ледового режима озёр многолетние данные о сезонной изменчивости количества льда на озёрах определяются в результате анализа картосхем ледовой обстановки, построенных по данным аэровизуальных наблюдений и спутниковых съёмок.

В МЧС России для мониторинга паводковой обстановки используется беспилотный летательный аппарат (БЛА) с последующим моделированием и прогнозированием возможных затоплений.

Беспилотный летательный аппарат (БЛА) – это беспилотное воздушное судно, которое управляется дистанционно или при помощи автономного программного обеспечения, установленного на его борту.

Характеристика паводковой обстановки на территории Тверской области

По территории области проходит главный орографический водораздел между бассейнами Каспийского и Балтийского морей. Большинство рек тяготеет в Верхней Волге, и лишь на северо-западе реки Мста, Цна и Шлина относятся к бассейну озера Ильмень, а на юго-западе берут начало реки бассейна р. Западной Двины. Речная сеть густо и равномерно покрывает территорию Тверской области.

Также, на территории области построено большое количество гидротехнических сооружений.

На территории Тверской области мониторинг паводковой обстановки осуществляют: Тверской центр по гидрометеорологии и

мониторингу окружающей среды (Тверской ЦГМС) и Главное управление МЧС России по Тверской области.

Среднемноголетние сроки начала весеннего половодья в Тверской области приходятся на III декаду марта – I декаду апреля.

Согласно многолетним наблюдениям, развитие паводковых явлений начинается с юго-запада и продолжается на север области. В начале на реках Обша, Межа, Торопа, Западная Двина. Далее на Мологе и озере Селигер.

По данным Главного управления МЧС России по Тверской области на территории области угрозе затопления в период весеннего половодья наиболее подвержены 12 муниципальных образований: Бельский МО, Жарковский МО, Западнодвинский МО, Калининский МО, Кимрский МО, Максатихинский МО, Нелидовский ГО, Осташковский ГО, Пеновский МО, Селижаровский МО, Торопецкий МО и Вышневолоцкий ГО.

С целью повышения качества мониторинга гидрологической обстановки и её развития данные с гидрологических постов дополняются данными дистанционного зондирования Земли из космоса и аэрофотосъемками местности. Аэрофотосъемка местности проводится с использованием БЛА с целью построения ортофотопланов и цифровых моделей рельефа местности (ЦМР).

Построение ортофотопланов, цифровых моделей местности и определение зон затопления было проведено на примере Бельского МО и Максатихинского МО Тверской области.

Статистика затоплений и высота снежного покрова в Бельском МО, г. Белый (р. Обша) за 2000–2023 гг. (см. рис. 2, рис. 3):

1. 2000 г. – в зоне затопления 147 домов. *Высота снежного покрова 19 см.*
2. 2001 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 21 см.*
3. 2002 г. – затопления не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 24 см.*
4. 2003 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 32 см.*
5. 2004 г. – в зоне затопления 88 домов. *Высота снежного покрова 15 см.*
6. 2005 г. – в зоне затопления 95 домов. *Высота снежного покрова 24 см.*
7. 2006 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 9 см.*
8. 2007 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 8 см.*

9. 2008 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 8 см.*
10. 2009 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 34 см.*
11. 2010 г. – в зоне затопления 54 дома. *Высота снежного покрова 36 см.*
12. 2011 г. – в зоне затопления 18 домов. *Высота снежного покрова 25 см.*
12. 2012 г. – в зоне затопления 97 домов. *Высота снежного покрова 33 см.*
12. 2013 г. – в зоне затопления 105 домов. *Высота снежного покрова 7 см.*
13. 2014 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 16 см.*
14. 2015 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 10 см.*
15. 2016 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 11 см.*
16. 2017 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 16 см.*
17. 2018 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 19 см.*
18. 2019 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 3 см.*
19. 2020 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 5 см.*
20. 2021 г. – в зоне затопления 18 домов. *Высота снежного покрова 18 см.*
21. 2022 г. – в зоне затопления 51 дом. *Высота снежного покрова 20 см.*
22. 2023 г. – в зоне затопления 47 домов. *Высота снежного покрова 30 см.*

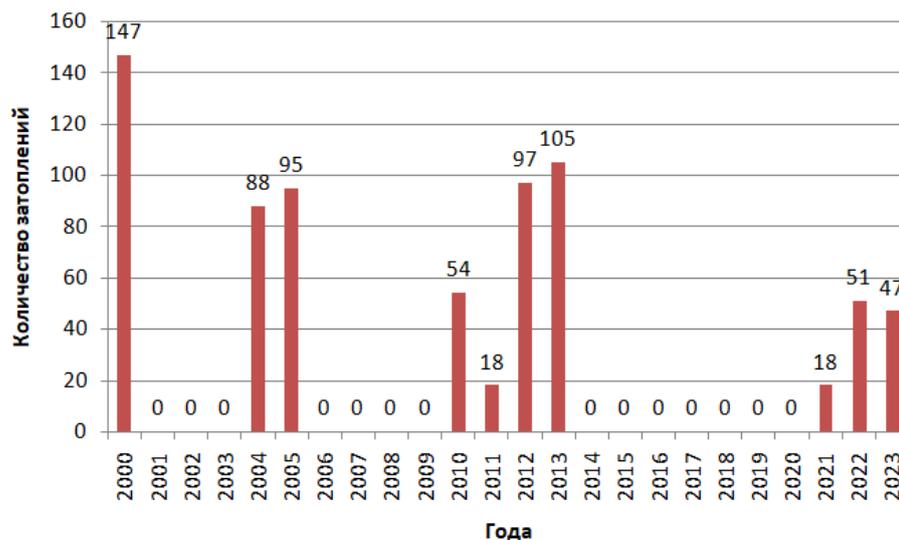


Рис. 2. Затопления в г. Белый за 2000–2023 гг., ед.
(составлено авторами)

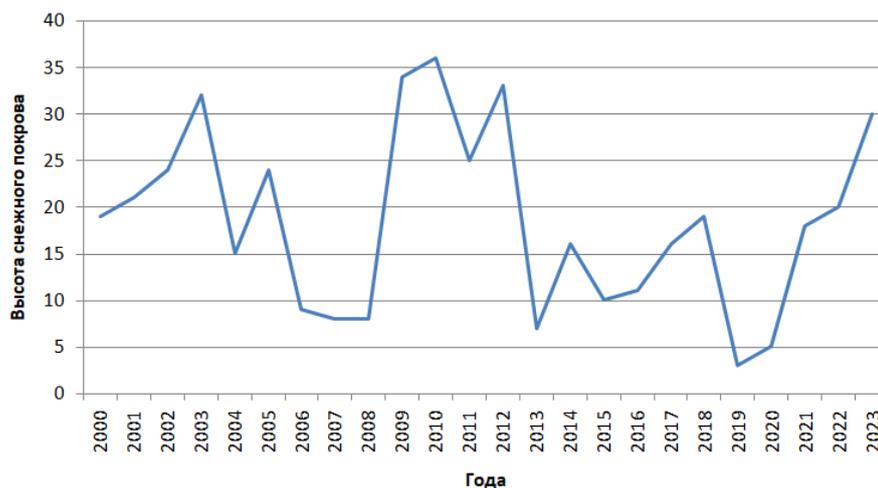


Рис. 3. Высота снежного покрова (см) в г. Белый за 2000–2023 гг.
(составлено авторами)

Статистика затоплений и высота снежного покрова в Максатихинском МО, пгт Максатиха (р. Молога) за 2000–2023 гг. (см. рис. 4, рис. 5):

1. 2000 г. – 44 дома. *Высота снежного покрова 25 см.*
2. 2001 г. – 27 домов. *Высота снежного покрова 15 см.*
3. 2002 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 10 см.*

4. 2003 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 10 см.*
5. 2004 г. – 2 дома. *Высота снежного покрова 15 см.*
6. 2005 г. – 6 домов. *Высота снежного покрова 14 см.*
7. 2006 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 8 см.*
8. 2007 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 10 см.*
9. 2008 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 10 см.*
10. 2009 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 6 см.*
11. 2010 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 8 см.*
12. 2011 г. – 36 домов. *Высота снежного покрова 20 см.*
12. 2012 г. – 39 домов. *Высота снежного покрова 17 см.*
12. 2013 г. – 59 домов. *Высота снежного покрова 26 см.*
13. 2014 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 13 см.*
14. 2015 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 12 см.*
15. 2016 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 7 см.*
16. 2017 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 5 см.*
17. 2018 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 11 см.*
18. 2019 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 11 см.*
19. 2020 г. – затоплений не зарегистрировано. *Высота снежного покрова 13 см.*
20. 2021 г. – 30 домов. *Высота снежного покрова 20 см.*
21. 2022 г. – 5 домов. *Высота снежного покрова 17 см.*
22. 2023 г. – 25 домов и 1 участок дороги. *Высота снежного покрова 22 см.*

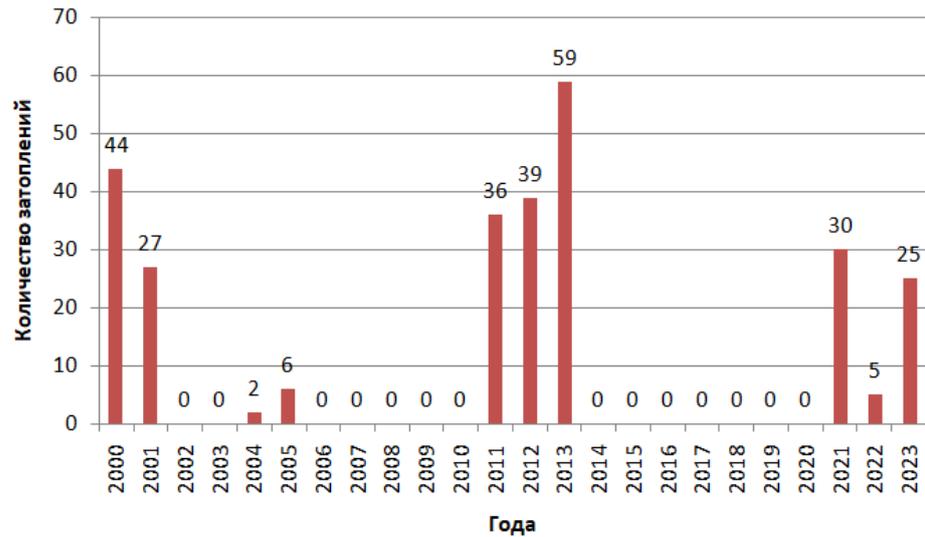


Рис. 4. Затопления в пгт Максатиха за 2000–2023 гг., ед. (составлено авторами)

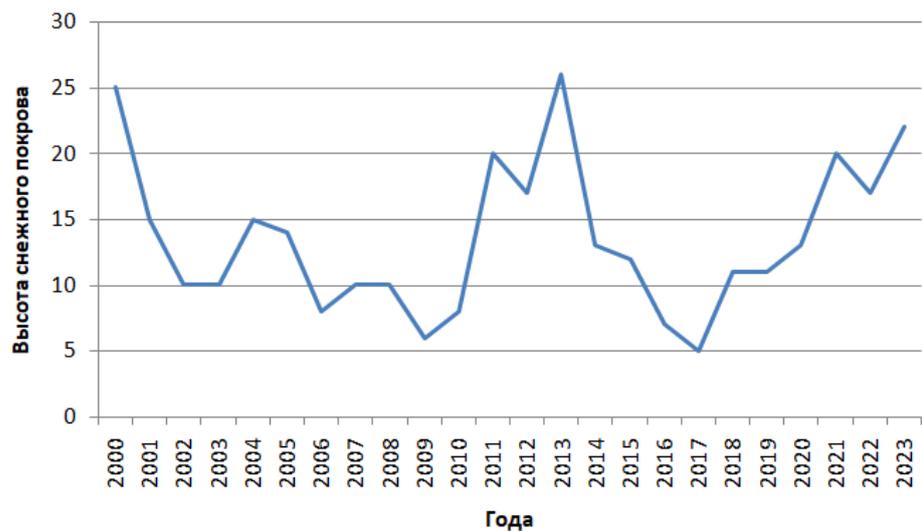


Рис. 5. Высота снежного покрова (см) в пгт Максатиха за 2000–2023 гг. (составлено авторами)

Исходя из представленных данных, можно сделать вывод, что наиболее значительные подтопления происходят с периодичностью 1 раз в 10 лет. В года с малоснежной зимой опасные отметки не достигаются, соответственно затоплений не происходит.

Ортофотоплан – это фотографический план местности, на котором представлена земная поверхность и объекты на ней с точной привязкой к заданной системе координат. Создается он на основе снимков, полученных с беспилотного летательного аппарата (БЛА) во время аэрофотосъемки.

В настоящее время технология ортофотопланов нашла применение во многих отраслях экономики и народного хозяйства РФ, таких, как нефтегазовая, сельское хозяйство, проектирование и строительство, промышленность, геодезия, картография и др.

Цифровые ортофотопланы применяются как готовые фотодокументы местности (например, для ориентирования на местности или привязки объектов к заданной системе координат), а также в качестве основы для топографических карт.

Одним из программных комплексов по созданию ортофотоплана является Agisoft MetalShape Professional.

Agisoft Metashape Professional позволяет генерировать географически привязанные плотные облака точек, текстурированные полигональные модели, цифровые модели местности/рельефа и ортофотопланы на основании перекрывающихся фотографий и информации о географических координатах [2].

Этапы построения:

1. Добавление снимка с БЛА.
 2. Загрузка положения камер. На данном этапе задается система координат для реконструируемой модели.
 3. Проверка Калибровки камеры. На этапах выравнивания и оптимизации его результатов Metashape по умолчанию оценивает параметры внутренней конфигурации камеры на основании данных EXIF. В случае если данные о размере пикселя и фокусном расстоянии (оба в мм) отсутствуют в EXIF (и, соответственно, в окне «Калибровка камеры»), эти параметры можно задать вручную перед началом обработки [2].
 4. Выравнивание снимков.
- Создание ортофотоплана путём ортотрансформирования исходных снимков (см. рис. 6, рис. 7).



Рис. 6. Ортофотоплан г. Белый [1]



Рис. 7. Ортофотоплан пгт. Максатиха [1]

Для построения вероятных зон затопления населённых пунктов (г. Белый и пгт. Максатиха) использовалась программа QGIS Desktop.

В обоих населённых пунктах подъём уровня воды в реках осуществлялся на 1 м (100 см).

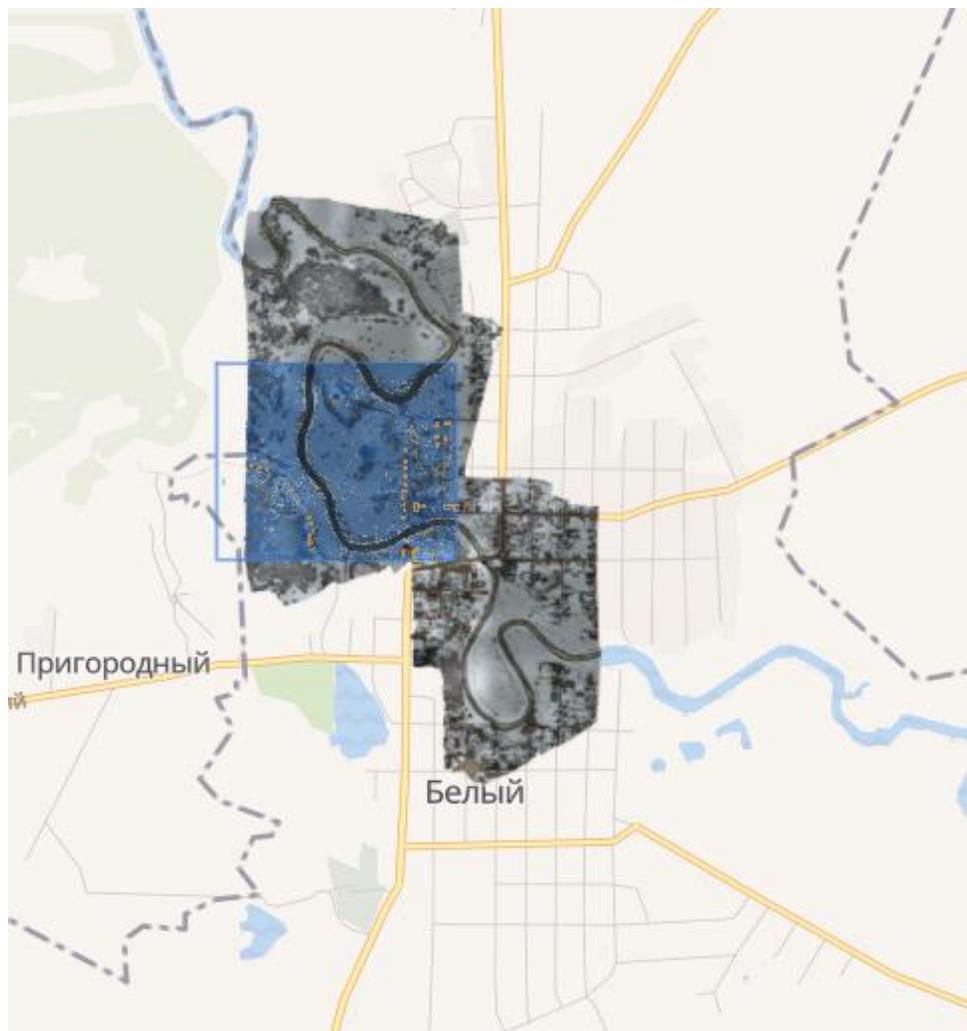


Рис. 8. Подъём воды по ЦМР на 1 м в г. Белый (р. Обша)
(составлено авторами)

Согласно расчёту, при поднятии уровня воды на 1 м в р. Обша в зону затопления попадают 36 зданий. Общая площадь затопления – 0,127 км² (рис. 8).

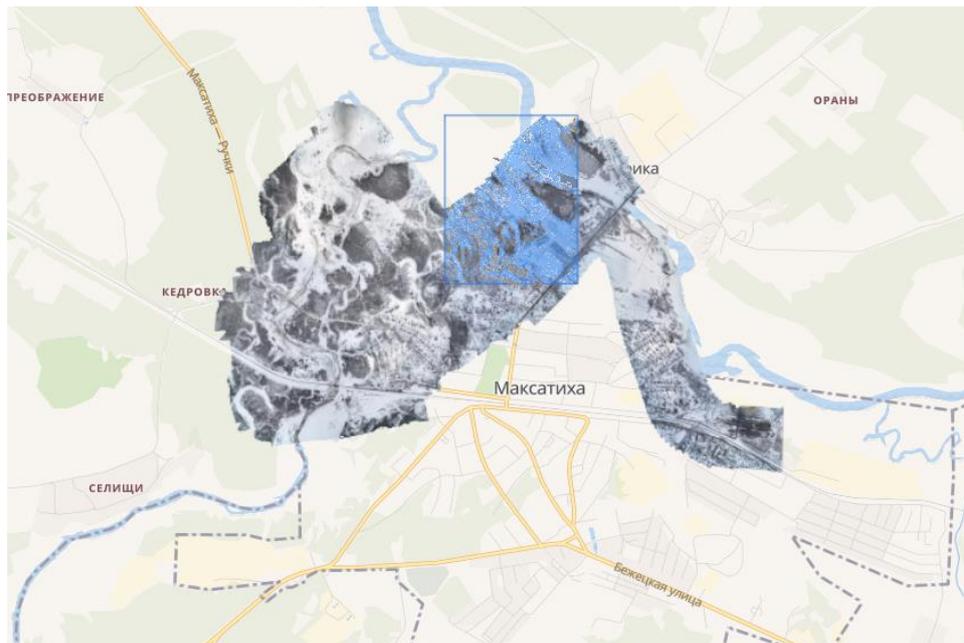


Рис. 9. Подъём воды по ЦМР на 1 м в пгт Максатиха (р. Молога) (составлено авторами)

Согласно расчёту, при поднятии уровня воды на 1 м в р. Молога, в зону затопления попадают 19 зданий. Общая площадь затопления – 0,394 км² (рис. 9).

В качестве превентивных мероприятий целесообразно:

1. Организовать укрепление и обвалование дорог, мостов, линий связи и электропередач.
2. Оповестить население об угрозе затопления.
3. Спланировать численность привлекаемых сил и средств.
4. Создать запас материалов и продовольствия для обеспечения населения в зоне затопления.
5. Определить предварительный размер материального ущерба.

Подводя итоги исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Возможность применения ГИС-технологий определяется объёмом и доступностью пространственных данных. Критическое значение имеет доступность цифровых карт и моделей рельефа, данных дистанционного зондирования Земли и сетевых гидрометеорологических наблюдений (гидрологические посты).

2. Расчёты затопления в г. Белый и пгт Максатиха, выполненные с помощью ортофотопланов и цифровых моделей местности, позволяют

визуализировать расчётную зону возможного затопления населённых пунктов, что упростит задачу по планированию и проведению мероприятий по защите населения и минимизации последствий затопления населённых пунктов.

В целях мониторинга и прогнозирования подтоплений целесообразно наращивать применение БЛА и ДДЗ, что позволит получать данные для построения цифровых моделей местности и ортофотопланов с визуализацией динамики уровня воды, а также построения зон фактического и прогнозируемого затопления, позволит создавать детальные модели зон затопления. В итоге всё это будет способствовать повышению уровня обеспечения государственной и общественной безопасности на территории Тверского региона.

Список литературы

1. Портал пространственных данных «Национальная система пространственных данных» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nspd.gov.ru/map>.
2. Пошаговое руководство: «Построение ортофотоплана и цифровой модели местности (ЦММ) по данным аэрофотосъёмки в программе Agisoft Metashape Pro 1.6 (с опорными точками и без)» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://goo.su/p2u0v8K>.
3. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://goo.su/pwabzxx>.
4. Сутырина Е.Н. Дистанционное зондирование Земли [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://goo.su/absJXb>.

Об авторах:

ПИСАРЕВА Екатерина Владимировна – выпускница магистратуры (2023 г.) факультета географии и геоэкологии ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь-21, Прошина, д. 3 корп. 2); e-mail: pisarewa.kate@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-3418-7406

ПРОКОФЬЕВА Наталья Борисовна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физической географии и экологии ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь-21, Прошина, д. 3 корп. 2); e-mail: prokofjevanat@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8679-4504, SPIN-код: 1838-2279

DETERMINATION OF FLOOD ZONES OF SETTLEMENTS USING EARTH REMOTE SENSING DATA

E.V. Pisareva, N.B. Prokofieva

Tver State University, Tver

The paper presents predictive calculations for determining the zones and possible consequences of flooding of the territory of settlements, built using orthophotomaps and digital terrain models.

Keywords: *flood zones, orthomosaics and digital terrain models.*

Рукопись поступила в редакцию 05.06.2024

Рукопись принята к печати 20.07.2024