

## Результаты применения беспилотных летательных аппаратов при определении границ зон затопления

*В. А. Гоман<sup>1\*</sup>, Т. А. Филиппова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Омский государственный аграрный университет им. П.А.Столыпина, г. Омск,  
Российская Федерация

\* e-mail: va.goman1720@omgau.org

**Аннотация.** В статье анализируются подходы и методы проведения инженерно-геодезических работ с применением БПЛА на примере зон с особым водным режимом. Для решения перечисленных вопросов на основании выполненных исследований предложено использовать комплексный геоинформационный анализ территории. Целью исследования является апробация технологии проведения инженерно-геодезических изысканий с применением квадрокоптера DJI Matrice 300 RTK в совокупности со сканирующим лидаром Zenmuse L1. Методы: картографический, монографический, теоретический анализ и другие аналитические методы. Результаты: применение БПЛА позволит усовершенствовать методы и подходы проведения мониторинга при определении границ зон затопления на землях населённых пунктов. Получение достоверной и практико-ориентированной цифровой модели рельефа позволит установить границы зон с особым водным режимом для разработки документов территориального планирования и градостроительного зонирования, с последующей разработкой мероприятий по защите территорий от затопления [1].

**Ключевые слова:** зона затопления, мониторинг, инженерно-геодезические работы, беспилотный летательный аппарат, цифровая аэрофотосъемка, цифровая модель рельефа

## Results of the use of unmanned aerial vehicles in determining the boundaries of flood zones

*V. A. Goman<sup>1\*</sup>, T. A. Filippova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Omsk State Agrarian University named after P.A.Stolypin, Omsk, Russian Federation

\* e-mail: va.goman1720@omgau.org

**Abstract.** The article analyzes the approaches and methods for carrying out engineering and geodetic work using UAVs on the example of zones with a special water regime. Based on the studies performed, it is proposed to use a comprehensive geoinformation analysis of the territory to solve the above issues. The purpose of the study is to test the technology of engineering and geodetic surveys using the DJI Matrice 300 RTK quadrocopter in conjunction with the Zenmuse L1 scanning lidar. Methods: cartographic, monographic, theoretical analysis and other analytical methods. Results: the use of UAVs will improve the methods and approaches of monitoring when determining the boundaries of flood zones on the lands of settlements. Obtaining a reliable and practice-oriented digital elevation model will make it possible to establish the boundaries of zones with a special water regime for the development of territorial planning documents and urban zoning, with the subsequent development of measures to protect territories from flooding (flooding

**Keywords:** flooding zone, monitoring, engineering and geodetic works, unmanned aerial vehicle, digital aerial photography, digital terrain model

## ***Введение***

В последние годы проблема затоплений территорий во всём мире становится всё более актуальной. Территории, расположенные на берегах водоемов при повышении уровня воды в реках достаточно часто подвергаются затоплению. В Российской Федерации законодательно закреплено положение, что границы зон возможных затоплений должны быть нанесены на карты генеральных планов поселений, но, несмотря на это, до сих пор эти вопросы должным образом не решены. Наиболее опасные наводнения на территории России случаются в южных и восточных регионах страны, но в той или иной степени практически все регионы испытывают их негативное воздействие.

Объектом исследования является Емельяновский район Красноярского края, где ежегодно фиксируются случаи затопления. В настоящее время по всей стране активно ведется работа по установлению границ зон затопления. Однако, анализ утвержденных положений, технических заданий и нормативной документации не выявил четких алгоритмов выполнения инженерно-геодезических работ по определению границ зон затопления. Существующий порядок не предусматривает проведения комплексного геоинформационного анализа территории с особым водным режимом как системы природно-техногенных условий. Следовательно, совершенствование методики гидрологического и экологического мониторинга территорий на основании результатов практического применения БПЛА (далее - беспилотный летательный аппарат) при определении границ зон затопления являются актуальной научно-технической задачей [2].

## ***Методы и материалы***

Исследования проводились на территории Емельяновского района Красноярского края, участок изысканий расположен в пригородной зоне, к западу от города Красноярска (рис.1).



Рис. 1. Обзорная схема участка работ

Территория Емельяновского района расположена на водоразделе двух крупных рек (Оби и Енисей) и различная удаленность ее от них обусловили формирование и характер существующего рельефа.

В последние годы набережная Енисея активно застраивается, строители засыпают протоки и сужают русло, поэтому возникла необходимость определить границы возможного затопления в результате разлива основных рек региона. Исследование по определению границ зон затопления, подтопления проводится впервые в 21 веке, предыдущие расчеты, произведенные были еще при строительстве Красноярской ГЭС и не отражают существующую ситуацию.

Затопление – это образование свободной поверхности воды на участке территории в результате повышения уровня водотока, водоема или подземных вод. Затоплению более всего подвержены пойменные территории, поэтому при планировании их использования, в первую очередь, нужно определить степень зоны затопления. Зона затопления - территория, покрываемая водой в результате превышения притока воды по сравнению с пропускной способностью русла [3]. Согласно ГОСТ по чрезвычайным ситуациям, затопление (как и зона затопления) делится на 2 категории (рис.2) [4].



Рис.2. Классификация затоплений

Зоны затопления относятся к зонам с особыми условиями использования территорий и в соответствии с законодательством о градостроительной деятельности, границы зон затопления отображаются в документах территориального планирования, градостроительного зонирования и документации по планировке территорий [5]. Это необходимо для того, чтобы на данных территориях соблюдался определённый режим в целях предотвращения негативного воздействия на них [6].

Территория Красноярского края характеризуется сложными физико-географическими и климатическими условиями, при которых создаются предпосылки для возникновения опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений. Распространены наводнения, причины которых связаны с максимальным стоком от весеннего таяния снега, а также с интенсивными дождями. На территории Емельяновского района преобладают такие гидрологические явления как половодье и паводок, реже – заторно-зажорные явления. Их основные причины:

течение реки с юга на север, большая её протяжённость, специфические климатические условия, одновременное прохождение пиков половодий на Ангаре и Енисее, которые, накладываясь друг на друга, дают резкие повышения уровней воды.

Работы по определению границ зон затопления и подтопления населенных пунктов выполнялись в соответствии с требованиями действующего законодательства РФ и нормативными актами в части состава, содержания и оформления результатов работы [7 - 14]. При проектировании инженерной защиты территории от затопления необходимо разработать комплекс мероприятий, который сможет предотвратить затопления и подтопления территорий. Требования к ним зависят от функционального использования земель и охраны природной среды или устранения отрицательных воздействий затопления и подтопления [15].

Инженерная защита на застраиваемых территориях должна предусматривать образование единой комплексной территориальной системы или локальных приобъектных защитных сооружений. В состав проекта инженерной защиты территории от затопления, подтопления стоит включать организационно-технические мероприятия, предусматривающие обеспечение пропуска весенних половодий и летних паводков.

Наводнения занимают первое место среди стихийных бедствий по числу жертв и причиняемому ущербу. Для защиты от наводнений применяют меры, позволяющие уменьшить потери от них (рис.3).

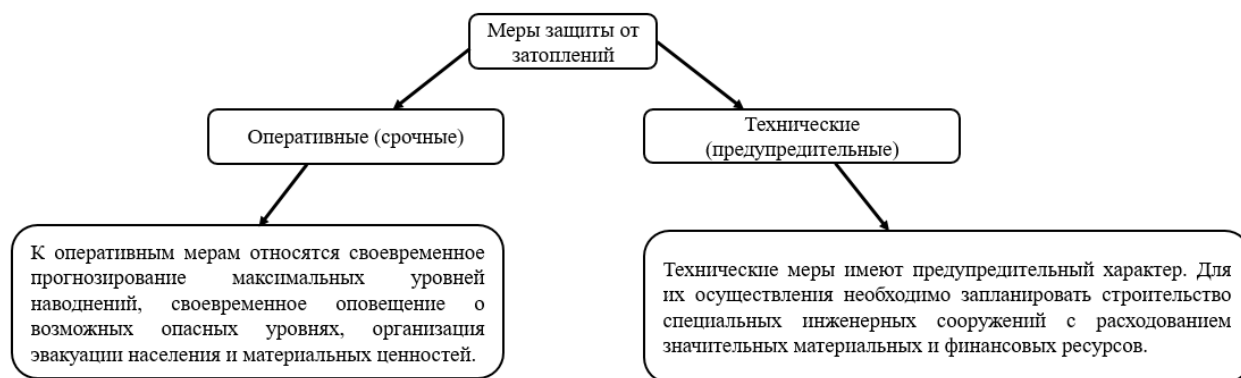


Рис.3. Классификация мер защиты от затоплений

Оперативные и технические меры должны осуществляться в комплексе. Организация защиты от воздействия поражающих факторов и их последствий осуществляется гидрологическим мониторингом и прогнозированием. Гидрологический мониторинг представляет собой систему измерений, передачи, хранения и обработки полученной информации, изменяющихся во времени количественных и качественных показателей водного режима в грунте, на поверхности земли, в руслах водотоков и в атмосфере. Гидрологический прогноз – научно-обоснованное предсказание времени наступления, развития, характера, продолжительности и масштабов наводнений [16]. Применение беспилотных летатель-

ных аппаратов для определения границ зон затопления относится к предупредительным мерам при гидрологическом мониторинге и прогнозе опасных явлений.

### *Результаты*

Исходя из цели работ и типа применяемого оборудования, на исследуемом участке была использована аэрофотосъемка в масштабе 1:500, содержание которой заключается в получении фотографического изображения местности с летательного аппарата [17]. Аэрофотосъемка с применением БПЛА на исследуемом объекте использована из-за того, что происходят быстрые изменения местности, требующих оперативного анализа и принятия решений (сезонные изменения, провоцирующие затопление и подтопление территории), а также ввиду того, что отсутствует практическая возможность или экономическая целесообразность детального изучения местности и определения числовых характеристик по космическим снимкам.

На объекте исследования с.Еловое Емельяновского района Красноярского края цифровая аэрофотосъемка с применением БПЛА выполнялась в декабре 2021 года. Съемка произведена беспилотным летательным аппаратом DJI Phantom 4Pro и VolJet VT5 совместно с цифровым фотоаппаратом Sony A - 6000 [18]. Аэрофотосъемка на объекте исследования проведена с учетом всех требований методических положений [19 - 21]. Продольное перекрытие снимков -80%, поперечное -60%, высота полета 258 метров, разрешение съемки 4,6 см/пикс, площадь покрытия 6,4 кв.км. (рис. 4).

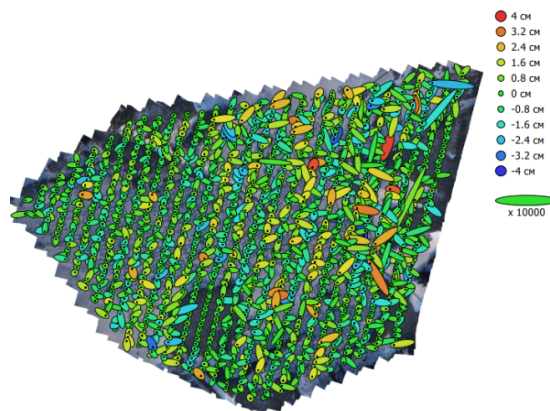


Рис. 4. Рассчитанные положения центров фотографирования и оценка ошибок

Ошибка по высоте (Z) отображается цветом эллипса. Ошибки в плане отображаются формой эллипса. Рассчитанные положения центров фотографирования отмечены черной точкой. Средняя ошибка по координатам центров фотографирования отражена в табл. 1.

Средняя ошибка по координатам центров фотографирования, (см)

Ошибка, X	Ошибка, Y	Ошибка, Z	Ошибка, XY	Общая ошибка
0.465435	0.468268	1,05901	0,660231	1.24796

Оценка расхождений координат центров фотографирования выполнена путем сравнения их значений, полученных из спутниковых определений с результатами решения обратных фотограмметрических засечек по опорным точкам с паспортными значениями элементов внутреннего ориентирования. Использование методики получения картографического материала с помощью БПЛА позволяет получить качественные материалы [22].

Фотограмметрические работы проводились с использованием специального программного обеспечения по обработке материалов АФС с беспилотных летательных аппаратов Agisoft Metashape Professional 1.7.4. Исходя из конфигурации маршрутов аэрофотосъемки, были составлены проекты фотограмметрических блоков для последующей фотограмметрической обработки [23]. В качестве исходных данных на объекте использовались координаты центров фотографирования снимков и планово-высотные опознаки. Точностные фотограмметрические характеристики уравниваемого блока обеспечивают выполнение работ по составлению топографических планов и ортофотопланов масштаба 1:5000 [24].

В результате выполненных фотограмметрических работ в ПО Agisoft Metashape Professional 1.7.4, программа вычислила карты глубины для каждой камеры и построила плотное облако точек - набор вершин в трёхмерной системе координат. Эти вершины, определяются координатами X, Y и Z и предназначены для представления внешней поверхности объекта.

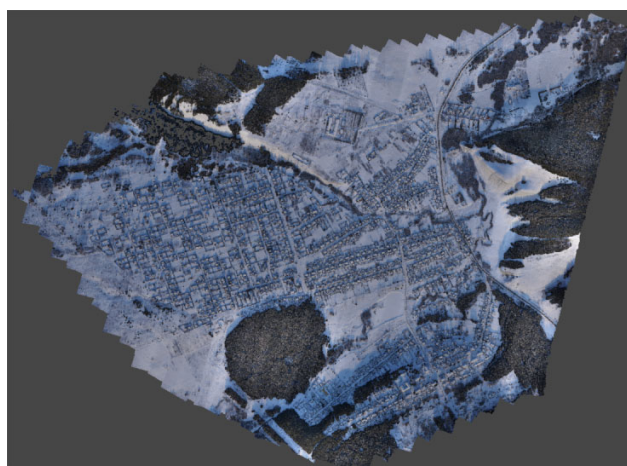


Рис.5. Плотное облако точек

Точки плотного облака (рис.5) были отфильтрованы по классу «Земля». Корректировка и контроль построения плотного облака производилась вручную по всей территории съемки. Коррекция ручным способом заметна и отличается от автоматической более плотным покрытием плотного облака точек классифи-

кацией «Земля». На данном этапе важно тщательно произвести корректировку для того, чтобы на следующем этапе полигональная модель была построена наиболее достоверно. На некоторых участках программа неверно назначила точки земли – на крышах домов, кроне деревьев столбах ЛЭП. В данном случае точки плотного облака были удалены и назначены в другой класс. На основе плотного облака точек была построена 3D модель рельефа (рис.6). После упрощения и сглаживания 3D-модели, была сформирована регулярная цифровая модель рельефа с разрешением 20,4 см/пикс (рис. 7).

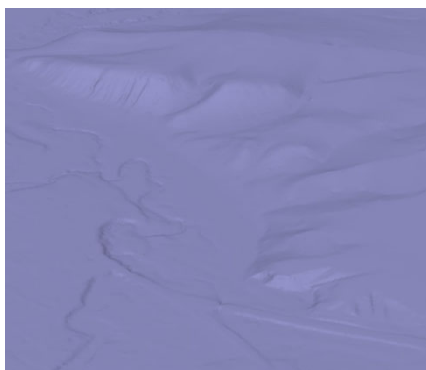


Рис.6. Фрагмент 3D модели рельефа на объекте исследования

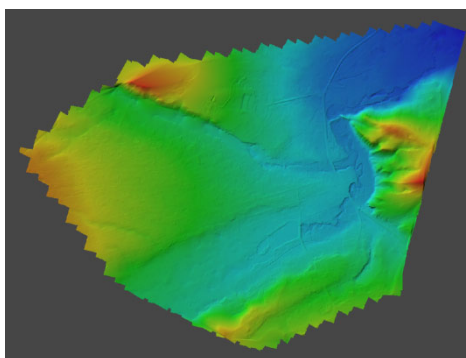


Рис.7. Рассчитанная цифровая модель рельефа

В результате автоматической обработки аэрофотоснимков был получен ортофотоплан, спроецированный на полигональную модель в формате PNG и PGW с геопривязкой для дальнейших работ. Ортофотопланы создавались в системе координат МСК-167 с разрешением 0.1 м.

Далее с помощью Топоматик Robur-изыскания 1.4 были выполнены дальнейшее построение и обработка ЦМР с сечением основными горизонталями через 0.5 м. По результатам обработки существующих материалов изготовлен картографический материал зон затопления, подтопления в пределах населенного пунктов, в масштабе 1:5 000, совмещенный с цифровой моделью рельефа с сечением 0,5 м. Полученные результаты исследования позволяют построить горизонтали, определяющие уровни возможного затопления (подтопления) территории села Еловое водами реки Еловка. Инженерно-геодезические изыскания обес-

печили получение топографо-геодезических материалов необходимых для выполнения работ по определению границ зон затопления (подтопления).

### **Заключение**

Теоретические и экспериментальные исследования, выполненные на конкретном объекте в Красноярском крае, позволяют сделать следующие выводы:

- применение БПЛА на участке работ позволяет в кратчайшие сроки получить изображение местности с высоким разрешением, минимизировать затраты, выполнить подробный и детализированный сбор данных. Так же преимуществом БПЛА является легкая управляемость аппаратом;

- основным преимуществом сканирующей системы DJI Matrice 300 RTK в совокупности с Лидаром Zenmuse L1 является возможность предоставлять трехмерные данные в реальном времени, эффективно регистрировать детали сложных конструкций и создавать высокоточные модели рельефа;

- данные мониторинга позволят устанавливать границы зон с особыми условиями использования территории для разработки документов территориального планирования и градостроительного зонирования по технологии, представленной на примере зон с особым водным режимом, к которым относятся зоны затопления.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Д. И. Супруненко, А. В. Ершов, А. В. Чернов. Использование беспилотных летательных аппаратов для целей административного обследования объектов земельных отношений / Д. И. Супруненко, А. В. Ершов, А. В. Чернов // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. Сборник материалов V национальной научно-практической конференции. Часть 3. – Новосибирск. – С. 126-129.;

2. А. Н. Насонов, О. Н. Николаева, В. В. Кульнев, И. В. Цветков. Оценка и картографирование риска паводковых затоплений территории с применением фрактального анализа / А. Н. Насонов, О. Н. Николаева, В. В. Кульнев, И. В. Цветков // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. Сборник материалов V национальной научно-практической конференции. Часть 2. – Новосибирск. – С. 224-231;

3. ГОСТ Р 22.0.03-2020 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения;

4. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения;

5. Постановление Правительства РФ от 18.04.2014 № 360 «Об определении границ зон затопления, подтопления» (вместе с «Правилами определения границ зон затопления, подтопления») // «Собрание законодательства РФ», 05.05.2014, № 18 (часть IV), ст. 2201;

6. А. В. Дубровский, Е. А. Скоринцева. К вопросу актуальности работ по установлению границ зон затопления и подтопления (на примере территории города Новосибирска) / А. В. Дубровский, Е. А. Скоринцева // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. Сборник материалов Национальной научно-практической конференции (Том 2). – Новосибирск. – С. 3-12;

7. Градостроительный кодекс РФ от 29.12.2004 №190-ФЗ;

8. Земельный кодекс РФ от 25.10.2001 №136-ФЗ;



9. Водный кодекс РФ от 03.06.2006 №74-ФЗ;
10. Федеральный закон от 24.07.2007 №221-ФЗ «О кадастровой деятельности»;
11. Федеральный закон от 18.06.2001 №78-ФЗ «О землеустройстве»;
12. Постановление Правительства РФ от 30.07.2009 №621 «Об утверждении формы карты (плана) объекта землеустройства и требований к ее составлению»;
13. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик;
14. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ;
15. СНиП 2.05.15-85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления. – М., 1986. – 25 с.;
16. СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик». - М.:Недра, 2004. - 49 с.;
17. Бирюков Д.А. Автоматизация топографических работ: Методические указания по выполнению лабораторных работ/Д.А. Бирюков, В.А.Костеша. – М.:Издательство стандартов, 2012. – 82с.;
18. Сборник характеристик беспилотных аэрофотосъемочных комплексов. [Электронный ресурс] URL: <https://www.geoscan.aero/ru/> (Дата обращения 03.11.2022);
19. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. – М.:ЦНИИГАиК, 2002. – 73 с.;
20. Инструкция по топографической съемке в масштабе 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. ГКИНП-02-033-82.;
21. Костюк А.С., Навигационное обеспечение аэрофотосъемки беспилотных летательных аппаратов: автоматизированные технологии изысканий и проектирований - № 3 (50), 2013 – С. 52 – 56.;
22. Береговой Д.В. Автоматизированное дешифрирование и векторизация материалов аэрофотосъемки при создании топографического плана // Сб. статей XV Международной научно-практической конференции. Ч.1.- М.: Актуальность. РФ,- 2018;
23. Назаров А.С. Средства получения цифровых снимков и методы их фотограмметрической обработки – Минск: Учебный центр подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров землеустроительной и картографо-геодезической службы. 2009- 263 с.;
24. ГКИНП 02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. Федеральная служба геодезии и картографии России. – М.: Недра,2002г. – 92с.;

© В. А. Гоман, Т. А. Филиппова, 2023