



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему

**Применение БПЛА в
гидрологической практике**

Исполнитель

Паничев Виталий Валентинович

Руководитель

доктор географических наук, профессор

Барышников Николай Борисович

Консультант

кандидат географических наук

Исаев Дмитрий Игоревич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


кандидат географических наук

Исаев Дмитрий Игоревич

«10»  20/16г.

Санкт-Петербург
2016

СОДЕРЖАНИЕ:

Введение	3
Глава 1. Применение аэрометодов в гидрологических исследованиях	
1.1 Общие сведения	4
Глава 2. Гидрологическое дешифрирование аэроснимков	
2.1 Методы дешифрирования	5
2.2 Анализ снимков	9
2.3 Изучение гидрологических процессов и явлений по аэрофотоснимкам	12
Глава 3. Опыт применения квадрокоптера для получения гидрологической информации	2
3.1 Технические характеристики квадрокоптера	24
3.2 Пробный полет комплекса	26
3.3 Обработка аэроснимков	28
3.4 Анализ. Возможное применение	34
Заключение	36
Список используемой литературы	37

ВВЕДЕНИЕ

Задачей моей работы является оценить возможности применения комплекса квадрокоптера с подвешенной на борту камерой GoPro в гидрометрической практике. Стоит заметить, что актуальность развития методик применения дистанционной радиоуправляемой техники вызывает большой интерес в гидрометрии. Преимущество аэрофотосъемки очевидно, можно за короткое время охватить большую территорию. Под аэрометодами подразумевается совокупность методов исследований земной поверхности и верхнего слоя земной коры, проводимых с самолетов или вертолетов. В последнее время возможности аэрометодов значительно расширились благодаря использованию искусственных спутников Земли. Однако получить космический снимок на конкретную необходимую дату, потребителю практически не возможно. Например, для того, чтобы получить фотоснимок со спутника (рис. 1) было затрачено полгода и не мало финансовых средств.



Рисунок 1 - Космический снимок участка реки Надым.

Аэрометоды включают аэровизуальные наблюдения, аэрофотосъемку с последующим дешифрированием и изучением снимков и инструментальную аэроразведку. В отдельных случаях применение их наиболее эффективно, особенно в труднодоступных районах, на больших реках, а также при выполнении некоторых работ, например, при наблюдениях за весенним вскрытием и ледоходом, перекрытиях больших рек при строительстве гидроузлов, при измерениях расходов воды во время паводков и в других случаях.

Глава 1. ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОМЕТОДОВ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.

1.1. Общие сведения.

В гидрологических исследованиях применяют аэровизуальные наблюдения, аэрофотосъемку и в меньшей степени инструментальную аэроразведку. Аэровизуальные наблюдения имеют большое применение для проведения многих гидрологических работ: для наблюдений за снежным покровом и снеготаянием, за ледовыми явлениями, за ходом половодья, за наполнением и опорожнением пойм, а также для предварительного ознакомления с районом исследований и водными объектами. Наблюдения проводят с самолета или вертолета, обычно на небольшой высоте полета. Наблюдатель снабжается чистыми бланками карты района для нанесения результатов наблюдений. Параллельно он ведет записи в журнале. Для упрощения и ускорения работы применяют магнитофон; на пленку записываются все произнесенные в микрофон заметки наблюдателя.

Аэрофотосъемка с последующим дешифрированием снимков является наиболее распространенным из аэрометодов в гидрологических исследованиях. По результатам дешифрирования составляют гидрографические описания. Кроме того, по аэрофотоснимкам изучают гидрологические процессы и явления, например, развитие речных излучин, переформирование берегов водохранилищ, волнение и др.

Для количественного определения гидрологических характеристик рек и водоемов применяют аэрофотосъемку, сопровождаемую некоторыми специальными приемами, например, запуском поплавков при измерениях скоростей течения и расходов воды. Методы подобных измерений разработаны в последние годы и с успехом применяются при изысканиях и исследованиях на реках и водоемах.

Расширение возможностей дешифрирования аэрофотоснимков достигается применением цветной, спектральной и инфракрасной аэрофотосъемки. Цветная аэрофотосъемка делается на многослойных

пленках и дает снимки в цветах, близких к натуральным. спектрозональная съемка отличается тем, что фотографирование выполняется в определенных узких диапазонах волн видимого спектра. Применяют спектрозональную съемку чёрно-белую и цветную. В первом случае съемка с самолета ведется одновременно двумя аэрофотоаппаратами на разных сортах пленки, чувствительных к различным зонам спектра. В цветном варианте спектрозональная съемка делается одним аэрофотоаппаратом на специальной цветной пленке, эмульсионные слои которой очувствлены к определенным участкам спектра. В настоящее время применяют главным образом цветную спектрозональную пленку. На ней цветовые различия, получаемые не в натуральных, а в условных цветах, резко повышают опознаваемость отдельных элементов местности. Аэрофотосъемку в инфракрасных лучах делают в коротковолновой части инфракрасного спектра с длиной волны до 1,1 мкм [1 мкм (микронметр) = 10^{-6} м]. Используют пленки со специальными фотографическими эмульсиями. В инфракрасных лучах лучше передаются элементы растительности, например, хорошо различаются хвойные и лиственные породы в лесных массивах; легче дешифрируются увлажненные участки. Инфракрасные лучи хорошо проникают через атмосферу и дымку.

Применяют некоторые методы определения гидрологических характеристик водных объектов с самолетов без проведения аэрофотосъемки, например, измерение температуры воды в поверхностном слое с использованием собственного инфракрасного излучения воды (излучаемой радиации) в участке спектра с длиной волн 8—14 мкм.

Глава 2. ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОСНИМКОВ.

2.1 Методы дешифрирования.

Под дешифрированием аэрофотоснимков подразумевается их детальное изучение и истолкование для различных научных и практических целей. В отдельных областях науки о Земле разработаны специальные методы дешифрирования, служащие для возможно более полного и глубокого изучения тех или иных элементов ландшафта по аэрофотоснимкам. Так, разработаны и широко применяются методы дешифрирования в геологии, почвоведении, геоботанике, лесоведении и других областях.

При гидрологических исследованиях выполняют специальное дешифрирование аэрофотоснимков для изучения водных объектов и явлений на них: рек, озер, болот, ледников, снежного покрова, ледовых явлений, волнения, переформирования берегов водохранилищ, руслового процесса и др. Методика гидрологического дешифрирования в настоящее время достаточно хорошо разработана главным образом благодаря трудам Государственного гидрологического института.

Для дешифрирования используют отдельные аэрофотоснимки — контактные отпечатки, фотосхемы, фотопланы, а при стереоскопическом дешифрировании — стереопары (позитивы или негативы). Аэрофотоснимки обладают большей разрешающей способностью, чем человеческий глаз, поэтому камеральное дешифрирование выполняют с помощью оптических приборов.

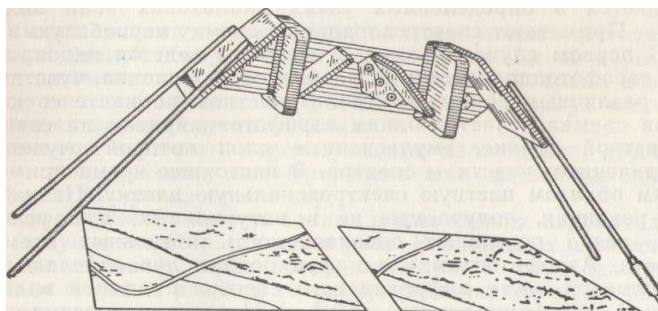


Рис. 1- Линзово-зеркальный стереоскоп.

Различают монокулярное и стереоскопическое дешифрирование. При монокулярном используют отдельные фотоснимки или фотосхемы и рассматривают их через лупу с увеличением в $2\text{—}4^x$. При стереоскопическом дешифрировании используют стереопары и рассматривают их в стереоскопические приборы. Для этой цели применяют специальные стереоскопы — линзовые, линзово-зеркальные, зеркальные (рис. 1), а для более точных работ используют стереометры и стереокомпараторы.

При дешифрировании обычно выполняют измерения тех или иных элементов местности, например, ширины реки, длины участка реки и пр. Измерения лучше всего выполнять при помощи стереокомпаратора или стереометра, используя для этого стереопары. Но приближенно можно делать измерения и на одиночных снимках, пользуясь измерителем и масштабной линейкой. При этом надо учитывать, что при таком способе ошибка измерения составляет приблизительно 0,2 мм. Например, при масштабе снимка 1: 10 000 ошибка составит 2 ж на местности; если мы хотим обеспечить точность 10%, то не должны измерять расстояния менее 20 ж в указанном масштабе; так, ширину реки менее 20 м измерять не следует.

Для измерения на аэрофотоснимках мелких деталей применяют специальные измерительные лупы с увеличением 10^x , позволяющие делать измерения с точностью до 0,05 мм.

Измерения вертикальных размеров, например, высоты берега, делают стереофотограмметрическим методом.

Опытом гидрологического дешифрирования установлены оптимальные масштабы аэрофотоснимков. Для общей качественной характеристики местности пригодны снимки в сравнительно мелких масштабах. Описание речных водосборов, долин, пойм возможно для равнинных условий по снимкам в масштабе 1: 25 000, а для горных условий 1: 40 000—1: 50 000. Для измерительного дешифрирования речного русла требуются снимки в масштабе 1: 10 000 и крупнее.

Дешифрирование разделяется на камеральное и полевое. При камеральном изучают по аэрофотоснимку элементы местности, составляют на кальке схему и подробное описание. Полевое дешифрирование делается для проверки и уточнения результатов камерального дешифрирования. Камеральное и полевое дешифрирование дополняют в отдельных случаях аэровизуальным дешифрированием, например, при наличии труднодоступных участков. Аэровизуальное дешифрирование выполняют с небольшой высоты полета, порядка 300 м, на малой скорости полета, лучше с вертолетов (МИ-1, К-18); целесообразно применение для этой цели дирижаблей.

При камеральном дешифрировании используют дешифровочные признаки местности. Они делятся на прямые и косвенные. Прямые позволяют непосредственно обнаружить те или иные элементы местности. К прямым признакам относятся: форма и размер изображения на снимке, тон изображения, тень. Тень бывает собственная и падающая. Собственная тень наблюдается на самом предмете, а падающая на прилегающей к предмету местности. Падающая тень помогает определять форму предмета, например, тень от моста хорошо выявляет его конструкцию.

Косвенными признаками называют такие, которые позволяют определить наличие других связанных с ними признаков или объектов. Например, дорога, подходящая с обоих берегов к реке, позволяет судить о наличии брода, о твердом дне, о небольшой глубине и малой скорости течения воды; наличие соснового леса - о песчаной почве, елового - о глинистой и т. д. Косвенных признаков очень много. При дешифрировании используют прямые и косвенные признаки.

Дешифрирование аэрофотоснимков позволяет определять:

- наличие и местоположение водных объектов на изучаемой местности;
- границы водосборов, их площади и характеристики: рельеф, залесенность, заболоченность, грунты и пр.
- характер и размеры речных долин и пойм, озерных котловин;

— характеристики речного русла: ширину, извилистость, направление и скорость течения, русловые образования, наличие водной растительности;
— наличие на реке гидротехнических сооружений, мостов, переправ, бродов, запаней.

Дешифрирование начинают с общего ознакомления с изображенной на аэрофотоснимках местностью. Для общего обзора исследуемого района используют репродукцию накидного монтажа или фотосхему. При наличии карты этой местности параллельно пользуются ею; по карте делают измерения в случае, если снимки не трансформированы.

Дальнейший порядок дешифрирования зависит от размера территории и поставленной задачи. После установления границ водосбора описывают характеристики бассейна, затем долину, пойму, русло. На кальку снимают контуры элементов ситуации и обозначают в условных знаках. В результате дешифрирования получают подробное гидрологическое описание и кальку контуров ситуации.

2.2 Анализ снимков.

Водораздельные линии речных бассейнов легко распознаются в местностях с хорошо выраженным рельефом. При слабо выраженном рельефе определение границ водосборов иногда вызывает большие затруднения. Например, в районе освоения целинных земель Северного Казахстана в условиях равнинного рельефа определение границ водосборов было сделано путем выявления на аэрофотоснимках микросети временного стока, а также по контрасту тональности заснятой поверхности: наиболее увлажненным участкам (пониженным) соответствует наиболее темный тон изображения. Эти признаки лучше выявлялись на снимках, сделанных в конце снеготаяния.

Речные долины на аэрофотоснимках распознаются по наличию реки, которая обычно хорошо просматривается на снимке. Рельеф долины, коренные берега определяются по теням. При дешифрировании сначала определяют формы рельефа долины по длине реки, затем измеряют

отдельные элементы долины, изучают изображения отдельных характерных участков.

Пойма реки рассматривается и дешифрируется по участкам. При этом определяются ее расположение относительно реки, размеры, характер растительности: луг, кустарник, лес, заболоченность. Болота на аэрофотоснимках изображаются характерным рисунком, по которому различают тип болота (см. рис. 9.7).

Русло реки легко различается на аэрофотоснимках. При дешифрировании русла определяют его контуры, выявляют разветвленность, извилистость, наличие островов, рукавов. Определяют русло вые образования: косы, отмели, пороги, водопады. При прозрачной воде просматривается рельеф дна (рис. 9.2). Песчаные отмели на снимках имеют белый тон без заметной структуры, но при наличии даже очень малого слоя воды на них просматривается рельеф дна. Перекаты определяют по более светлому тону дна, плёсы по наиболее темному тону. Пороги узнают по белым рассредоточенным вытянутым полосам, водопады — по белой полосе поперек русла. При рассмотрении реки на аэрофотоснимке можно сделать вывод о прозрачности воды: чистая вода при больших глубинах имеет темный тон, а при малых глубинах просматривается дно. Мутная вода на снимках имеет светлый тон. Водная растительность в русле различается по характерной структуре рисунка и более светлому тону по сравнению с темным тоном воды (см. рис. 9.4).



Рис. 2 - Аэрофотоснимок реки.

Берега реки лучше дешифрируются при стереоскопическом рассмотрении. Высота и крутизна берега определяются стереофотограмметрическим методом. Но можно оценить характер берега и при монокулярном дешифрировании по наличию тени и ее очертанию.

Направление течения определяется по ряду признаков (рис. 9.3). Притоки, как правило, впадают под острым углом, вершина которого направлена вниз по течению. Острые изгибы береговой линии направлены обычно вниз по течению; заводи — слепым концом против течения; острова — тупым концом вверх по течению. Песчаные гряды,

просматривающиеся на мелководье, а — широкая часть острова пологим откосом направлены против течения. Ледорезы мостов направлены вверх по течению. Ледорезы мостов направлены навстречу течению, б — широкая часть отмели навстречу течению, в — устье притока под острым углом к течению, г — заводь вверх по течению, д — ледорезы моста вверх по течению, е — белые пятна вспененной воды на порогах, у камней вытянуты вниз по течению.

Скорость течения воды при дешифрировании определяется приближенно по косвенным признакам, основными из которых являются следующие. Большая извилистость

равнинной реки свидетельствует о небольшой скорости, порядка 0,3 м/сек.

Наличие водной растительности говорит также о малой скорости течения. Поверхность воды реки изображается без видимых структурных образований при скоростях до 1,5 м/сек. Структурное изображение водной поверхности говорит о больших скоростях. При обтекании препятствий наблюдаются отжимы струй и завихрения;

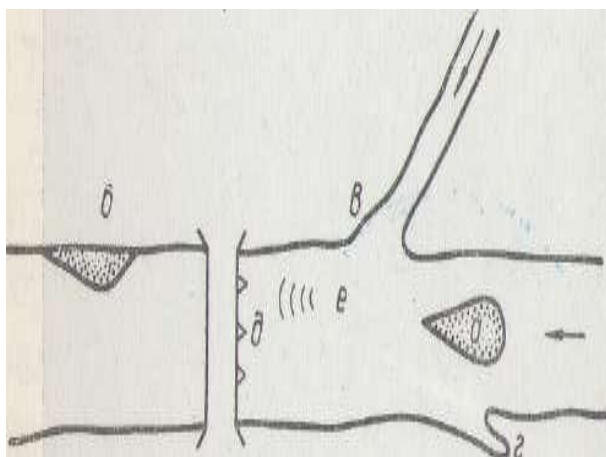


Рисунок 3 - Схема к определению направления течения реки при скоростях 1,5—2,0 м/сек и более они хорошо просматриваются на аэрофотоснимках, причем чем больше скорость, тем под более тупым углом расходятся струи потока за обтекаемым препятствием.

При дешифрировании аэрофотоснимков высокогорных районов могут быть выявлены области питания, протекания и отложения селевых потоков, что весьма важно для практики. По данным Г. Н. Голубева и И. А. Лабутиной, области питания характеризуются эрозионными врезами в рыхлых незадернованных отложениях, хорошо различаемыми при стереоскопическом рассмотрении снимков. Зона транзита селей обычно прослеживается в виде коробчатого вреза в дно долины. Свежие селевые отложения дешифрируются по светлому тону с зернистой структурой, создаваемой крупными валунами. Наличие на конусе отложений полос леса разного возраста свидетельствует о постоянстве селевой деятельности.

2.3 Изучение гидрологических процессов и явлений по аэрофотоснимкам.

Изучение деформаций речного русла.

Аэрофотоснимки являются весьма ценными документами для изучения русловых переформирований. Единоновременно сделанные снимки позволяют анализировать развитие руслового процесса, восстанавливать ход планового перемещения русла в прошлом, определять направленность русловых деформаций. Еще большие возможности представляет изучение аэрофотоснимков речного русла, сделанных в разные годы.

Большая работа по изучению и типизации плановых деформаций речных русел путем анализа аэрофотоснимков проделана в Гидрологическом институте. Анализ плановых деформаций русла выполняется путем изучения различных видов морфологических образований, выявляемых на аэрофотоснимках. Например, при свободном меандрировании реки это делается путем изучения так называемых «вееров перемещения», т. е. чередующихся гряд и ложбин на пойме, образовавшихся в результате перемещений русла и хорошо просматриваемых на аэрофотоснимках.



Рисунок 4 - Аэрофотоснимок отчленившейся излучины реки.

На рисунке 4 видна отчленившаяся от реки излучина-старица, а в правом нижнем углу видно и русло реки. На пойме в районе старицы хорошо виден характерный рисунок «веерообразных перемещений», изогнутых линий гряд. Гряды на пойме представляют собой береговые валы, отошедшие от реки в процессе перемещений русла. Одним из наиболее распространенных видов плановых деформаций русла является перемещение S-образной излучины вокруг относительно неподвижной точки (рис. 5). Пределом перемещений часто является прорыв в основании петли. В этом случае из петли образуется старица, как это видно на рисунке 4. Затем цикл развития излучин обычно повторяется.

Анализ плановых перемещений русла на участке реки позволяет выявить места, где плановые деформации проявляются наиболее интенсивно и наиболее слабо.

Места слабовыраженных деформаций являются более благоприятными для расположения на них мостовых переходов и гидротехнических сооружений.

Последовательные аэрофотосъемки участка реки в различные периоды гидрологического режима на протяжении ряда лет позволяют успешно изучать русловый процесс. При помощи стереофотограмметрической обработки аэрофотоснимков можно получать как качественные, так и количественные характеристики изучаемого процесса. Наибольший эффект в изучении может быть достигнут сочетанием метода аэрофотосъемки и наземных определений, в частности измерений уклонов, расходов воды, скоростей течения, расходов наносов, определения механического состава наносов и донных отложений. Для подробного ознакомления с затронутыми вопросами рекомендуется книга И. В. Попова (1969).

Изучение перестроения берегов водохранилищ.

В последние годы создано много крупных водохранилищ, а в дальнейшем их число будет возрастать. В них развиваются активно протекающие процессы размыва крутых берегов, переноса и отложения продуктов размыва. Эти процессы затрудняют эксплуатацию водохранилищ, часто

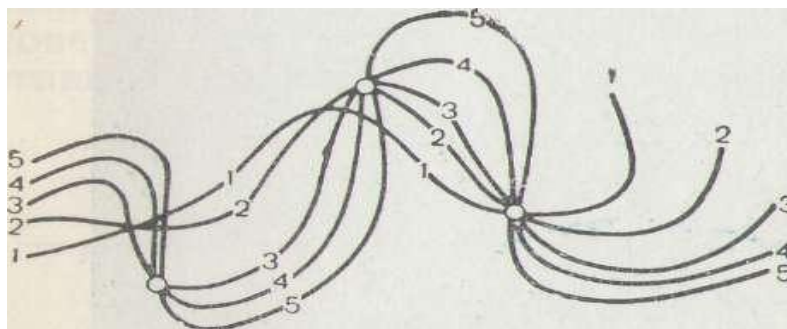


Рисунок 5 - Схема плановой деформации русла в виде разворота S-образной излучины (по И. В. Попову).

приводят к отрицательным последствиям, например, к необходимости переноса на другое место населенных пунктов и промышленных предприятий. Одним из эффективных методов изучения является аэрофотосъемка. Она позволяет в короткие сроки практически одновременно сделать съемку больших участков. Обработка и анализ аэрофотоснимков дают материал для качественных и количественных выводов о развитии процесса переформирования берегов. Съемка производится периодически со времени начала заполнения водохранилища и затем обычно не менее раза в год. Материалы аэрофотосъемки во время заполнения водохранилища, производимой обычно учащенно, служат также для наблюдений за происходящими в это время важными явлениями и процессами, например, за заполнением поймы, за ледоходом, ледоставом и др.

Изучение процесса переформирования берегов с применением аэрофотосъемки проводилось на Цимлянском, Куйбышевском, Волгоградском и других водохранилищах. На Волгоградском водохранилище в июне 1961 г. была сделана аэрофотосъемка для определения степени размыва берегов. Полученные материалы сравнивались с аэрофотосъемкой, сделанной в октябре 1959г. Анализ показал, что наибольшая величина размыва (отступления) берега за этот период составила 85 м (на одном из полуостровов близ устья р. Еруслан). В других местах были отмечены

отступления берегов на 55—65 м. Существенный размыв был отмечен на значительном протяжении берега прямолинейного или почти прямолинейного простираения (Ф. С. Зубенко, 1964). Изучение берегов методом аэрофотосъемки проводилось ГГИ, Гипроречтрансом и Лабораторией аэрометодов АН СССР. Аэрофотоснимки берегов дают возможность определять их форму, высоту, крутизну, особенности геологического строения, наличие, формы и размеры береговых отмелей. Как и при изучении русловых переформирований, наиболее эффективное изучение процесса переформирования берегов достигается сочетанием метода аэрофотосъемки с наземными наблюдениями. Аэрофотоснимки позволяют выявить места наибольших размывов и аккумуляции. В характерных местах организуют наземные стационарные наблюдения: разбивают и закрепляют постоянные створы, на которых периодически делают промеры глубин и нивелировки поверхности берега.

Изучение волнения.

Метод аэрофотосъемки с успехом применяется для изучения волнения. Обычная аэрофотосъемка с летящего по курсу самолета непригодна для стереоскопического изучения волнения, так как между снимками одной стереопары проходит определенный промежуток времени, за который вид взволнованной поверхности изменяется ввиду ее большой динамичности. В этом случае могут использоваться отдельные снимки для качественного описания волнения: выявления систем волн, их взаимодействия, трансформации волн на мелководье и пр. Применяют съемку двумя синхронно работающими аэрофотоаппаратами, расположенными на крыльях самолета, но при этом базис съемки мал и площадь съемки незначительна. В ГГИ разработан способ аэрофотосъемки, взволнованной водной поверхности с двух самолетов (Пугин, 1964). На одном из самолетов, ведущем, устанавливается два аэрофотоаппарата для плановой съемки водной

поверхности — основной и контрольный — и, кроме того, аэрофотоаппарат для съемки второго самолета и линии горизонта. На другом самолете, ведомом, устанавливается один аэрофотоаппарат для плановой съемки водной поверхности. На ведущем самолете устанавливаются радиовысотомер и статоскоп, а также командный прибор, управляющий работой всех аэрофотоаппаратов; команда на второй самолет передается по радио. Съемка выполняется синхронно. Каждая отдельная съемка дает два основных снимка, одну статограмму, одну пленку регистрации высотомера и один перспективный снимок ведомого самолета и линии горизонта. При проведении съемок применяется определенный порядок полета. При полете в направлении разгона волн (по ветру или против него) самолеты идут параллельно. При съемке перпендикулярно ветру самолеты идут один за другим. Такой порядок обеспечивает удобство и упрощение дальнейшей

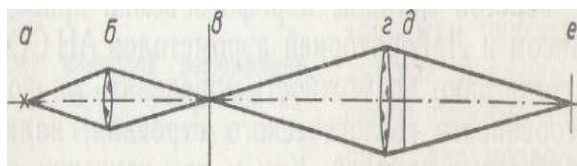


Рисунок 6 - Оптическая схема получения дифракционной картины.

а — источник света, *б* — конденсор, *в* — точечная диафрагма, *г* — длиннофокусный объектив, *д* — аэронегатив — «дифракционная решетка», *е* — фотопластинка (в фокусе объектива).

обработки снимков.

Обработка стереопар делается на стереокомпараторе, но можно также применять обычный линзово-зеркальный стереоскоп с параллаксометром. В результате обработки получают план взволнованной водной поверхности в горизонталях.

Имеются другие методы изучения волнения. В Лаборатории аэрометодов АН СССР разработан метод изучения волнения, основанный на регистрации бликов отражений солнечных лучей от наклонных-поверхностей волн. В этом случае водная поверхность рассматривается как совокупность

наклонных поверхностей, имеющих разные углы наклона. Метод позволяет по известным углу наклона солнечных лучей и углу зрения объектива аэрофотоаппарата, а также зная положение блика в плоскости аэрофотоснимка, вычислить угол наклона отражающей поверхности и высоту волны. Практически обработка аэрофотоснимков делается с помощью специальных палеток; их накладывают на снимки и определяют по ним углы наклона водной поверхности.

Имеется еще дифракционный метод, основанный на том, что плановый аэрофотоснимок взволнованной водной поверхности рассматривается как естественная дифракционная решетка. Дифракционная картина аэрофотоснимка взволнованной водной поверхности получается в оптическом устройстве (рис. 6), где фиксируется на фотопластинке и затем анализируется. Используя физические закономерности дифракционной решетки, можно получить все плановые характеристики составляющих ее элементов, т. е. по аэрофотоснимку взволнованной водной поверхности можно определить плановые характеристики волн. Путем изучения двух снимков, сделанных через известный промежуток времени, можно определить скорость распространения волн. Метод дифракционной решетки применялся при изучении 'волнения в Лаборатории аэрометодов АН СССР К. С. Ляликовым и Ю. Д. Шариковым (1957).

Изучение ледовых явлений и ледохода.

Аэрофотосъемка используется для наблюдений за замерзанием рек и водоемов в осенне-зимний период, за состоянием ледяного покрова зимой, за весенним вскрытием и ледоходом. Параллельно применяются аэровизуальные наблюдения. Эти наблюдения дают возможность получить практически одновременно картину ледовой обстановки на всем исследуемом участке.

Аэрофотосъемка применяется при исследованиях неизученных и малоизученных рек, а также при инженерных изысканиях и в период

строительства. С ее помощью определяют места зажоров и заторов, а путем последовательных съемок изучают их развитие. Ведут наблюдения за процессом ледохода, густотой ледохода, размерами и формой льдин, за пропуском льда через строящиеся гидротехнические сооружения.

Аэрофотосъемка ледохода на больших реках является единственно возможным способом изучения этого явления. В частности, она была с успехом применена при исследованиях ледохода и половодья в низовье р. Лены на участке протяженностью более 100 км при ширине реки 10 км и более. Опыт проведения этой работы освещен в статье Н. П. Жемчужина (1959). Для получения траекторий и скоростей движения льдин производились многократные полеты по одному маршруту в течение времени, пока лед не пройдет всей длины участка, при этом удавалось проследить путь каждой интересующей льдины. Оpozнaвание льдин не представляло затруднений, так как их форма хорошо сохранялась. Для получения векторов течений и определения смещения льдин за время между двумя последовательными снимками (10—16 сек.), а также для подробного освещения ледовой обстановки и условий отстоя судов в затонах делали стереоскопическую аэрофотосъемку. При полетах проводились аэровизуальные наблюдения.

Изучение снежного покрова и снеготаяния.

Аэрофотосъемка снежного покрова для изучения процесса снеготаяния и схода снежного покрова впервые была применена ЦИП и ГГИ в 1954—1957 гг.

Аэрофотосъемка снежного покрова делается для определения снегозапасов и количества воды в снеге. В период снеготаяния производят несколько съемок в различные фазы снеготаяния. По аэрофотоснимкам определяют площади снега на даты съемок. Подсчет количества воды в снеге, которое может участвовать в стоке с водосбора, делается на основании данных наземных наблюдений за запасом воды в снеге.

На аэрофотоснимках, сделанных в период снеготаяния, хорошо выделяются участки местности со снежным покровом. Снег получается белым на темном фоне («пестрый ландшафт»). Влажная почва имеет на снимках темный тон; по мере высыхания почвы тон светлеет. Снег хорошо просматривается в лесных массивах из лиственных пород. В хвойных лесах наличие снега определяется при стереоскопическом рассмотрении снимков. Определение площади снега на снимках «пестрого ландшафта» затруднительно. Для этого иногда применяют так называемый весовой способ. Накладывают на аэрофотоснимок кальку, обводят контуры снега и вырезают. Отношение веса вырезанных частей к весу всей кальки принимают равным отношению площади снежного покрова ко всей площади, заснятой на аэрофотоснимке. Определение площади снега делается еще оптическим способом: с помощью оптического устройства собирают отдельные пятна снега в одно большое пятно, площадь которого равна сумме площадей отдельных пятен.

Более сложной является аэрофотосъемка снежного покрова в горных условиях, а также и обработка ее результатов. Опыт проведения такой съемки освещен в работе В. П. Черногорова (1966).

В последнее время успешно развивается новый метод изучения снегозапасов — самолетная гамма-съемка снежного покрова, основанная на поглощении снегом гамма-излучения естественных радиоактивных элементов почв и горных пород. Аэрогамма-съемка позволяет непосредственно получить величину запасов воды в снежном покрове по линии полета самолета.

Изучение гидрологических характеристик болот.

Материалы аэрофотосъемки широко используются для гидрографических описаний и гидрологического изучения болот. Методика дешифрирования аэрофотоснимков болот достаточно хорошо разработана благодаря большой работе, сделанной в ГГИ и других организациях. Успешному

использованию аэрофотосъемки для гидрологического изучения болот способствовало установление К. Е. Ивановым общих связей гидрологических процессов на болотах со строением и морфологией болотных ландшафтов.

Болота на аэрофотоснимках хорошо опознаются по прямым дешифровочным признакам, к которым относятся: 1) зернистость, 2) полосатость, 3) тон рисунка аэрофотоснимка болота.

Зернистость рисунка связана с наличием деревьев на болоте. На аэрофотоснимках различаются лиственные и хвойные породы деревьев, а также кустарники. Полосатость рисунка характеризует грядово-мочажинные и грядово-озерковые комплексы. На снимках они представляют чередование светлых и темных полос, расположенных обычно концентрически. Тон рисунка связан с характером растительности и степенью обводнения болота. Травяные (осоковые) болота выглядят на снимках темнее моховых, сильно обводненные болота выглядят темнее менее обводненных.

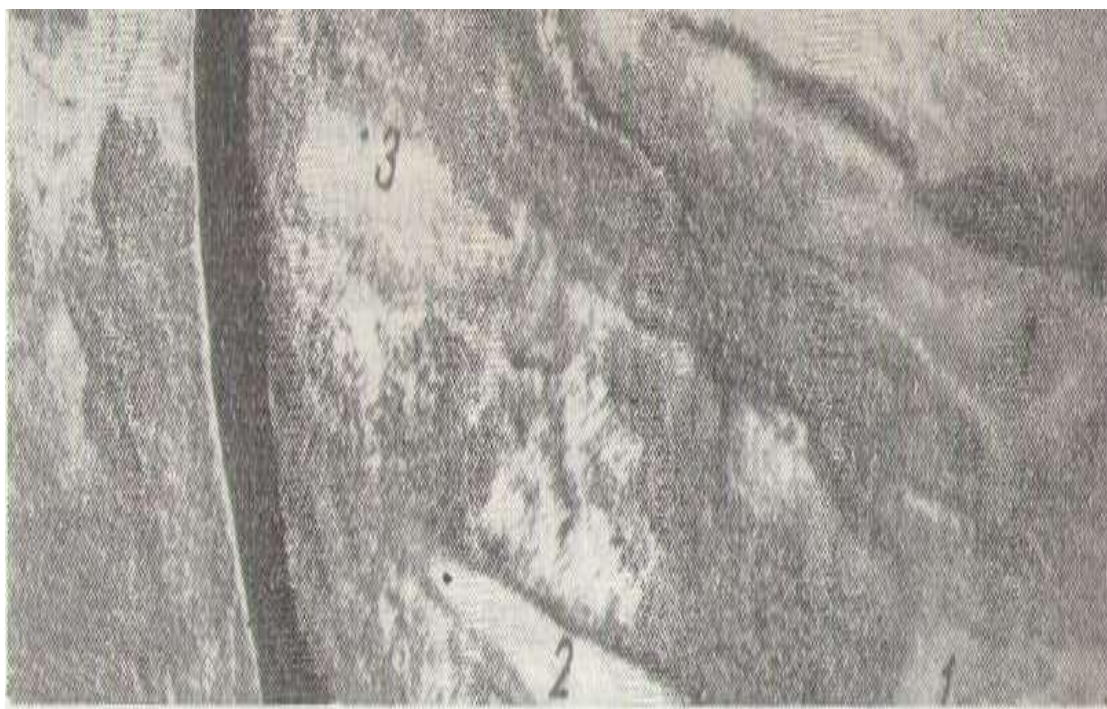


Рисунок 7 - Аэрофотоснимок болотной местности.

К дешифровочным признакам болот относятся также минеральные острова, выделяющиеся крупной зернистостью рисунка леса, и

внутриболотные водотоки и водоемы, отличающиеся темным тоном водной поверхности и имеющие характерные очертания: реки — большую извилистость, озерки — округлую форму.

На рисунке 7 приводится аэрофотоснимок, на котором хорошо опознаются болотные массивы по рассмотренным дешифровочным признакам. На снимке изображена лесная болотная местность, по которой протекает река. Суходольные участки покрыты елово-пихтовым лесом с примесью березы, понижения заняты болотами различного вида. Длинная серая разных оттенков полоса, идущая поперек снимка, сфагново-пушицевое кустарниковое болото разной степени увлажнения. По нижнему его краю, маскируясь древесной растительностью в верхнем течении, протекает речка, выходящая далее на болотный массив, где соединяется с другой речкой. На снимке видны грядово-мочажинные комплексы, легко различимые по характерному рисунку, а также лесные болота, отличающиеся зернистостью рисунка.

При дешифрировании аэрофотоснимков устанавливают границы болот, определяют типы болотных массивов, выявляют элементы гидрографической сети. После дешифрирования составляют крупномасштабные типологические карты. На основании крупномасштабных карт составляют обзорные мелкомасштабные карты, по которым определяют размеры заболоченности водосборов, величину коэффициента заболоченности.

Отдельно составляют схемы расположения гидрографической сети болот с показанием линий стекания поверхностных и грунтовых вод. Различают следующие элементы гидрографической сети болот: 1) водоемы-озера и микроозерки, 2) водотоки — реки и ручьи, 3) топи — сильно переувлажненные участки болота; топи делятся на застойные, проточные и фильтрационные. Проведение линий стекания на схемах делается на основании установленного работами ГГИ положения, согласно которому фильтрация воды происходит в основном в пределах верхнего тонкого слоя

торфа, толщиной 0,3—0,7 м, а рельеф свободной поверхности грунтовых вод подобен рельефу поверхности болота. Поэтому линии стекания (линий токов) направлены перпендикулярно горизонталям; это относится к линиям стекания фильтрационных и поверхностных вод. Гряды и мочажины на болотах располагаются вдоль горизонталей, т. е. перпендикулярно направлению фильтрационного потока. Схема гидрологической сети и линий стекания, а также морфологические характеристики болот и данные о колебаниях уровня грунтовых вод служат основой для проведения гидрологических расчетов стока и испарения с болот. Эти вопросы рассмотрены в работах К. Е. Иванова (1957) и В. В. Романова (1961).

Следует отметить, что наибольший эффект в изучении болот достигается сочетанием метода аэрофотосъемки с наземными наблюдениями. В отдаленных и труднодоступных районах аэрофотосъемка является пока единственным достаточно надежным методом изучения болот.

Глава 3. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.

3.1 Технические характеристики квадрокоптера.

В последнее время стали доступны летательные аппараты способные нести на борту полезный груз. Особенно привлекательны при производстве полевых гидрологических исследованиях квадрокоптеры (рис. 8).



Рисунок 8 - Квадрокоптер.

Этот аппарат имеет 4 и более несущих винтов и несколько гироскопов. Стабилизация в пространстве осуществляется без участия человека, а с помощью встроенного в аппарат микропроцессора. Последние модели оборудованы GPS навигацией. Для квадрокоптера так же есть свое программное обеспечение, что позволяет настраивать его под любые условия. Таким образом аппарату можно задать высоту, скорость, ориентацию в пространстве, маршрутные точки по которому квадрокоптер будет выполнять полет по заданному маршруту в автоматическом режиме (рис. 9).

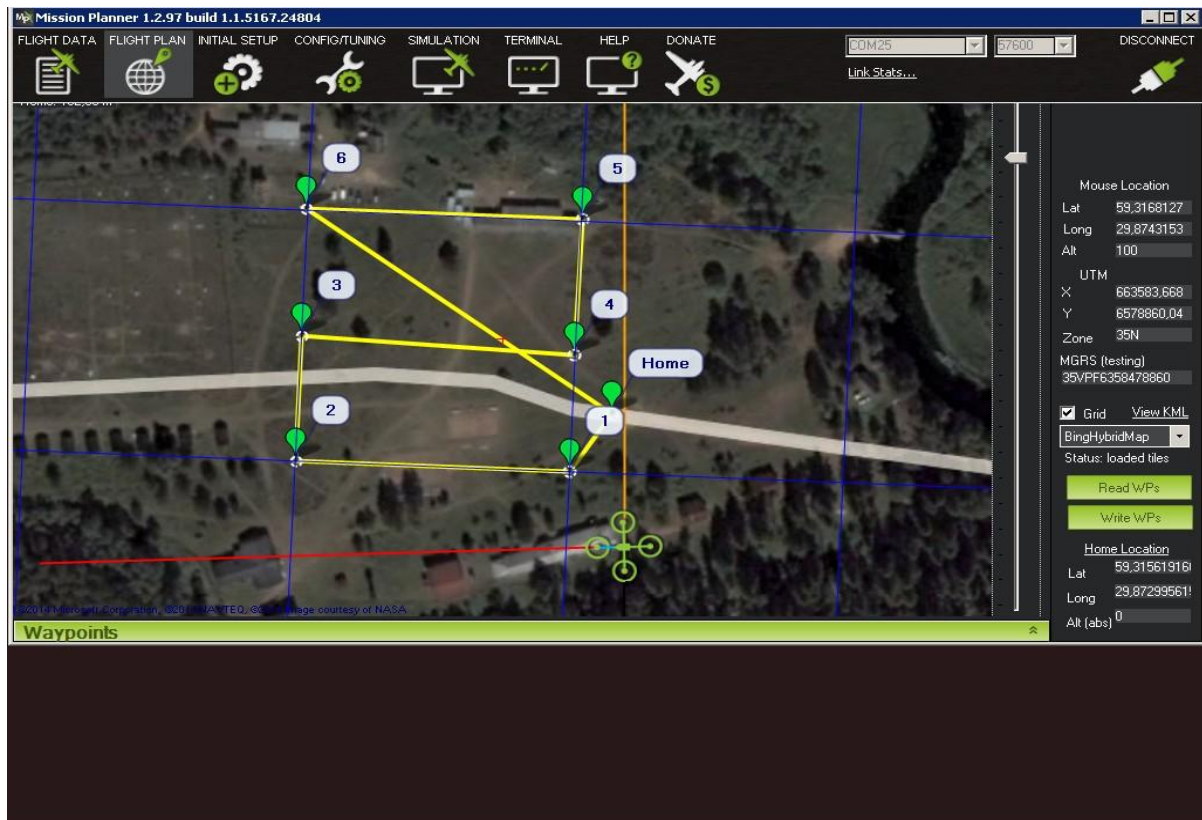


Рисунок 9 - Пример заданного маршрута полета квадрокоптера на базе практики университета.

Технические возможности квадрокоптера:

- Максимальное удаление от передатчика 2 км.
- Заявленная максимальна высота полета около 2-ух км.

- Максимальное время работы двигателей 20-25 минут.
- На подвеску можно брать около 250 граммов.

Это значит, что квадрокоптер способен нести на подвеске камеру GoPro и в полете вести как фотосъемку с различной интенсивностью, так и видеосъемку. Гидрологический факультет РГГМУ приобрел такой квадрокоптер и камеру GoPro.

3.2 Пробный полет комплекса.

На базе практик Российского государственного гидрометеорологического университета в д. Даймище были произведены пробные полеты на открытом участке местности для того, чтобы подобрать параметры камеры и скорость полета.

После первых пробных полетов обнаружилось, что на краях снимка имеются нелинейные искажения (рис. 10), характерные для широкоугольного объектива камеры GoPro.



Рисунок 10 - Пример снимка с нелинейным искажением.

На базе практики был разбит с максимальной точностью полигон в виде квадрата размером 30*30 м, углы и стороны которого были промаркированы. Затем были сделаны снимки с различной высоты (рис. 11, 12, 13)



Рисунок 11 – Снимок с высоты 30 м.



Рисунок 12 – Снимок с высоты 50 м.



Рисунок 13 - Снимок с высоты 80 м.

3.3 Обработка аэроснимков.

Как показали результаты, на высоте 80 м центральная часть снимка, за исключением $1/3$ с каждого края, практически не искажается. Это значит, что на высоте 80 метров без искажений остается участок только примерно 40×40 метров. Такой результат нас не устроил и мной было попробовано использовать различные программы для исправления нелинейных искажений снимков. Удобной в использовании и хорошо справляющейся с поставленной задачей была подобрана программа PTGui (Panorama Tools Graphical user interface). На фотоснимках (рис. 14, 15) хорошо видно на примере опытного полигона, что квадрат, после обработки, выпрямлен с идеально ровными сторонами.



Рисунок 14 - Исходный снимок.



Рисунок 15 - Обработанный снимок.

Помимо исправления искажений эта программа позволяет склеивать серию снимков в панораму (рис. 16).

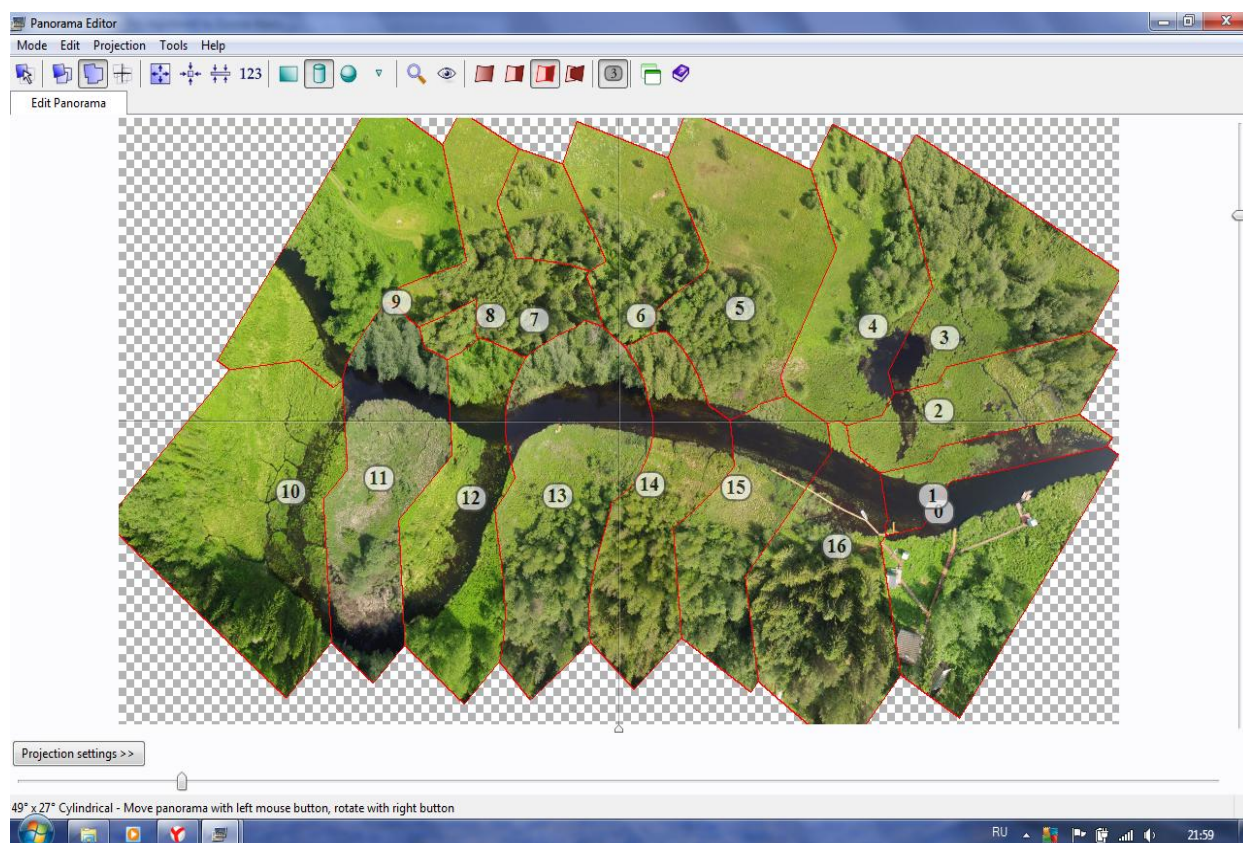


Рисунок 16 - Пример создания панорамных снимков.



Рисунок 17 – Панорама участка р. Оредеж.

Так же можно увидеть на рисунке 10 маршрут полета квадрокоптера по нумерации снимков.

Самое очевидное применение таких панорам- это растровая подложка под плановую съемку местности.

Первые опыты в подложке под плановую съемку местности панорамы не дали удовлетворительных результатов (рис.18). Но это еще не говорит о том, что панорамный снимок получается с искажениями т. к. плановая съемка местности была выполнена студентами. Вполне возможно, что плановая съемка местности имеет не точности.

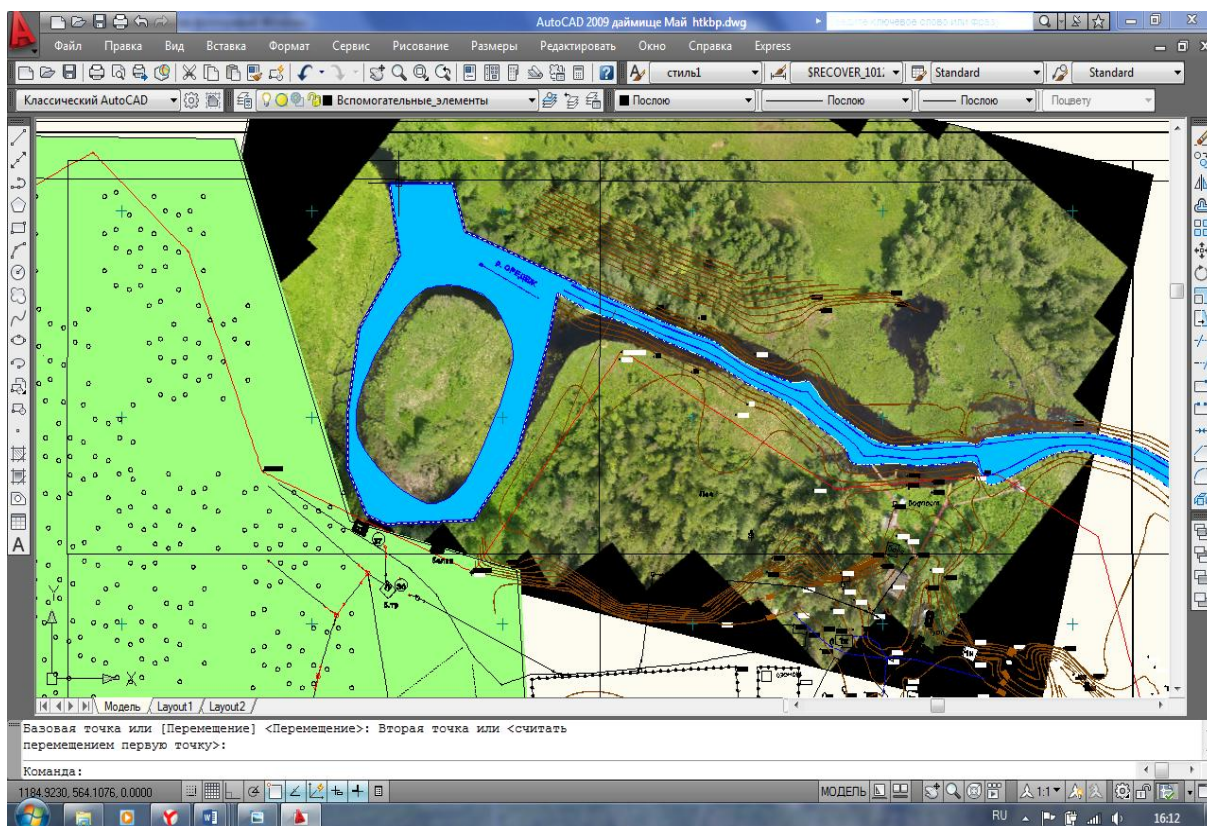


Рисунок 18 - Пример подложки общего фотоснимка под плановую съемку местности.

Возможно я использовала не все возможности программы при создании панорамного снимка . Но в месте с тем получаемые снимки позволяют существенно детализировать такие элементы рельефа, как положение уреза русла и очертания границ растительности на пойме.

Разрешение снимков, сделанных с высоты 80 м, позволяет разглядеть натянутый в створе над рекой Оредеж трос диаметром 10 мм (рис. 19) или достаточно детально видно растительность у уреза.



Рисунок 19 - Пример фотоснимка с высоким разрешением.

3.4 Анализ. Возможное применение.

Во время пробных полетов, на снимках мы обнаружили шлейф от смываемой водой цветочной пыльцы (рис. 20, 21), а это значит, что применяя естественные или искусственные красители-индикаторы, можно отбивать застойные зоны, фиксировать направления течений, а имея точечный

источник индикатора, запустив его в русле, можно посчитать коэффициент турбулентной диффузии.



Рисунок 20 – аэроснимок участка реки с шлейфом цветочной пыльцы.

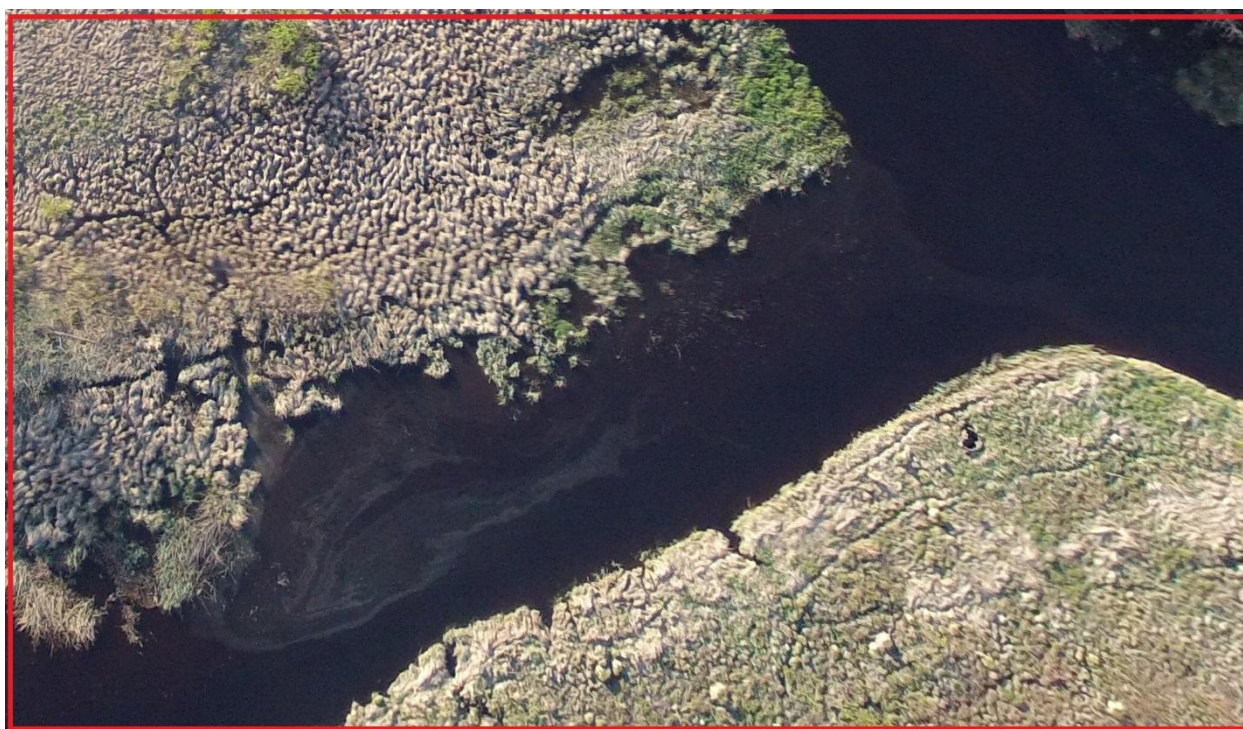


Рисунок 21 - подробный участок реки с шлейфом цветочной пыльцы.

Сравнивая снимки за различные даты, можно оценить интенсивность развития водной растительности (рис. 22, 23) и перейти к ее количественным характеристикам, а это значит создать методику определения коэффициента шероховатости в зарастающих руслах.



Рисунок 22 – Аэрофотоснимок участка реки Оредеж за 17.05.2014 г..



Рисунок 23 – Аэрофотоснимок участка реки Оредеж за 5.06.2014 г..

С 1996 года на участке реки Оредеж ведутся ежегодные наблюдения за плановой деформацией русла. Измерения проводились через 5 метров с 1996 года по 2009 год и через 10 м с 2010 года по нынешний момент времени, от базовой магистрали по одному правому берегу реки. Средняя скорость деформации составляет 11 см в год. Мы наложили на аэрофотоснимок данные измерений. На слайде видно (рис.24), что применение таких снимков позволяет, во-первых: значительно детализировать линию берега, во-вторых: существенно расширить участок наблюдений, включая пойменный массив, причем по обоим берегам. Это позволит лучше понимать процессы сползания русла при ограниченном меандрировании.

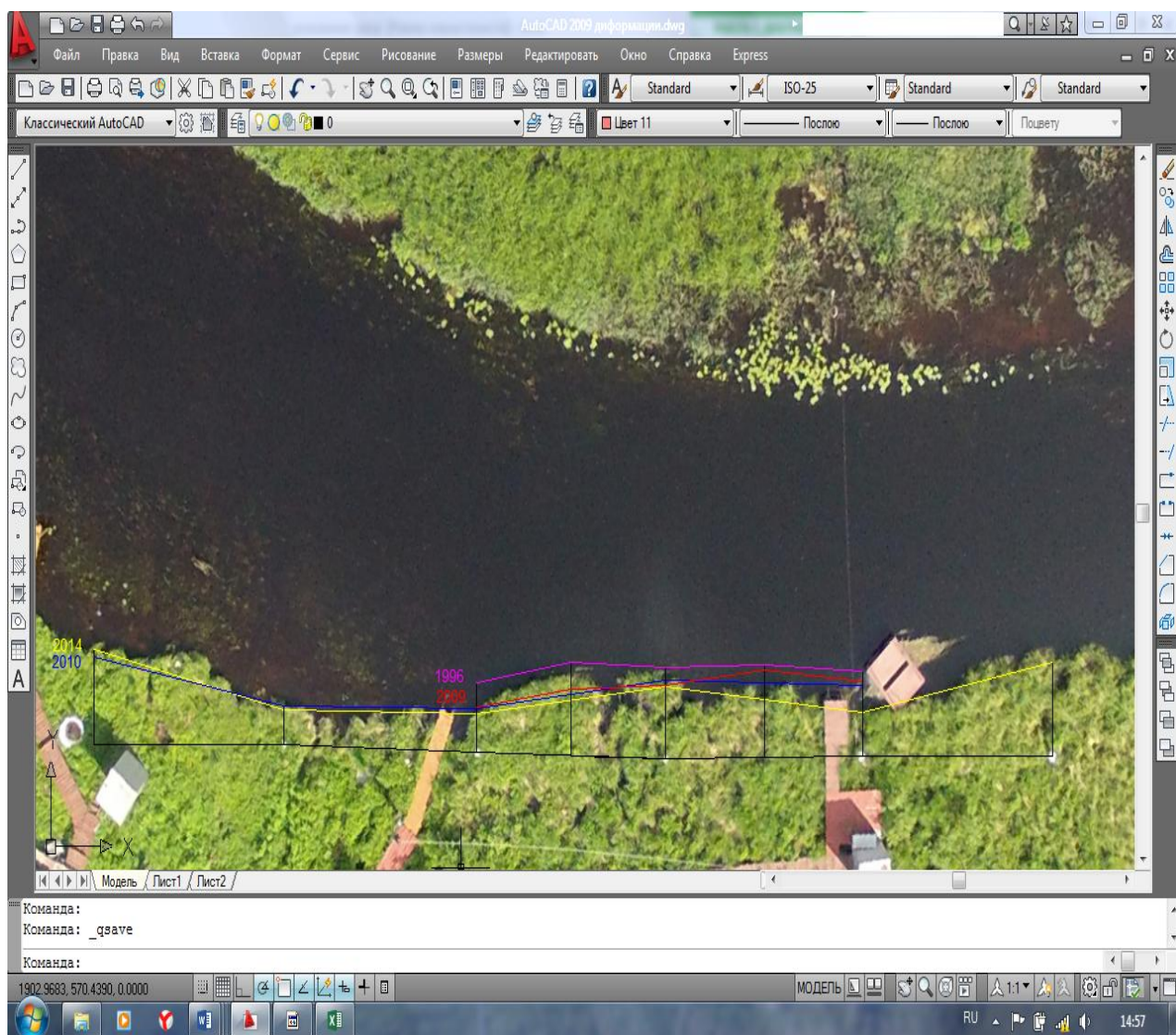


Рисунок 24 - Участок р. Оредеж с графическим отображением плановой деформацией за 1996, 2009, 2010 и 2014 годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Использование авиации и космических спутников Земли около пяти лет назад было основным и единственным методом для получения аэроснимков. Которые во многом необходимы для изучения и мониторинга в области гидрометрии. Теперь же, с появлением радиоуправляемых аппаратов появилась возможность применять их в гидрометрии с относительно минимальными затратами средств и времени. Сделанная мной работа возлагает большие перспективы для развития методик измерений с помощью комплекса квадрокоптера и камеры GoPro.

В перспективе:

Видится применение подобных комплексных устройств для фиксации параметров ледохода и ледовой разведки; если научить квадрокоптер садиться на воду, то вполне реально оборудовать его ионоселективными датчиками, которые позволят определить химические элементы в воде. Уже существуют эхолоты, работающие по беспроводному каналу связи, а это значит, появится возможность осуществления промеров в труднодоступных местах. В весенний период возможно использование квадрокоптера, с закрепленной на борту камерой, для фиксирования снежного покрова на водосборе. Возможно под квадрокоптер в будущем будут разработаны специальные гидрологические приборы.

Список используемых источников:

- 1 Васильев А.В., Шмидт С.В. Водно-технические изыскания. – Л.: Применение аэрометодов в гидрометрии, 1987.
- 2 Ершов С.С., Белоусов И.Г. Космическая Топография
- 3 <http://ru.wikipedia.org/wiki/Мультикоптер>
- 4 [http:// airosmith.com/flyingsteps/scince](http://airosmith.com/flyingsteps/scince)