

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ АРКТИЧЕСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
В Г. КИРОВСКЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

(филиал МАГУ в г. Кировске)

Тема: «Аэромагнитная съемка с БПЛА как наиболее
прогрессивный метод геологоразведки»

Полетаев Сергей Николаевич

Научный руководитель:
Коста А.В.

г. Кировск, 2020/2021 учебный год

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ.....	6
1.1 Поиск залежей твёрдых ископаемых.....	6
1.2 Методы геологоразведки.....	7
1.2.1 Метод геологической съемки	8
1.2.2 Метод аэрогеологической съемки	8
1.2.3 Обломочный метод.....	9
1.2.4 Валунно-ледниковый метод.....	9
1.2.5 Шлиховой метод.....	9
1.2.6 Металлометрический метод	10
1.2.7 Геохимический метод.....	10
1.2.8 Метод искусственных обнажений	11
1.2.9 Геофизические методы	12
1.3 Геофизическая съемка с помощью магнитометра.....	14
ГЛАВА 2. ПЕРЕДОВЫЕ МЕТОДЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДКИ.....	15
2.1 Методы геологоразведки, применяемые в КФ АО «Апатит»	15
2.2 Аэрогеофизические технологии	16
2.3 Аэромагнитная съемка с БПЛА.....	19
2.4 Использование БПЛА-комплексов.	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	29
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	30

ВВЕДЕНИЕ

Хибины – это не только географический, но и культурный, и индустриальный центр Кольского полуострова. Мурманская область занимает около 1% площади территории РФ и по праву считается кладовой многих важных полезных ископаемых. Здесь производится разработка крупных месторождений «апатитнефелинового и вермикулитслюдяного, железорудного, медно-никелевого и кварцсодержащего сырья, разведан ряд месторождений строительного и облицовочного камня, глин, выявлены крупные залежи огнеупорного сырья и вспучивающихся сланцев» [1].

Самые большие объемы апатитнефелиновых руд находятся в юго-западной части Хибин и «протянулись в виде «апатитовой дуги» на 12 километров от Кукисвумчорра на западе до Восточного Расвумчорра на востоке». [2] В настоящее время разрабатывается крупное месторождение у горы Коашва и разведаны залежи апатитовых руд в долине реки Кунйок. Изучаются месторождения Куэльпор-Суолуайв, Поачвумчорр, Эфеслогчорр. Для разработки интерес представляют не только апатит, но и нефелин, и другие минералы. «Фтор и стронций, редкие земли, алюминий, щелочные металлы, титан, ванадий, железо, кремнезем - вот что, помимо фосфора, выгодно получать из хибинских руд». [2]

Прежде чем начать работы по добыче любых полезных ископаемых, необходимо организовать работы по их геологоразведке. Эти работы проводятся, как правило, в условиях труднодоступности территорий и сурового климата. Крупные сырьевые компании принимают решение о разработке рудных месторождений на основании экономических расчетов. Но последнее слово всегда остается за геологами.

«Геологоразведочные работы — это мероприятия, направленные на выявление и подготовку к освоению в промышленных масштабах месторождений полезных ископаемых». [3] Целью проведения работ по геологоразведке является изучение размещения залежей полезных ископаемых и их состава. Помимо прочего, выясняется наличие

сопутствующих компонентов, в том числе газов и редких металлов, прорабатывается вопрос возможности их последующей добычи.

Для успешного проведения геологоразведочных работ необходимо не только провести тщательный анализ климатических и природных условий в предполагаемом месте добычи, но и изучить особенности ландшафта рассматриваемой территории. Необходимо также определить возможность применения различных способов добычи, выбрать наиболее оптимальный из них, учитывая особенности влияния каждого метода на экологическую обстановку местности. Результатом геологоразведочных работ является расчёт запасов полезных ископаемых, оценка их количественных и качественных характеристик.

Разведка месторождений производится только в том случае, когда в процессе поисковых работ получены высокие оценочные показатели. Целью геологоразведки является определение размеров и условий залегания, пространственного положения месторождений, количества и качества ископаемых. В работе рассмотрены различные методы геологоразведки и выбран наиболее прогрессивный из них.

Тема исследовательской работы — «аэромагнитная съемка с БПЛА как наиболее прогрессивный метод геологоразведки».

Цель исследования: определить наиболее прогрессивный метод геологоразведки в условиях труднодоступных территорий Арктики.

Задачи:

- ✓ изучить литературу по теме исследования;
- ✓ собрать данные о различных методах геологоразведки;
- ✓ рассмотреть возможность применения различных методов геологоразведки в условиях труднодоступных территорий Арктики;
- ✓ Выбрать наиболее прогрессивный метод геологоразведки.

Актуальность выбранной темы заключается в том, что одной из основных проблем при геологоразведке в условиях Арктики является труднодоступность многих перспективных для разработки месторождений.

На арктической территории имеются огромные запасы «медно-никелевых руд, олова, платиноидов, агрохимических руд, редких металлов и редкоземельных элементов, крупные запасы золота, алмазов, вольфрама, ртути, черных металлов, оптического сырья и поделочных камней». [11] Наиболее значительные месторождения полезных ископаемых Арктики находятся преимущественно в северной части Кольского полуострова.

Объект исследования: методы геологоразведки.

Предмет исследования: магниторазведка с применением беспилотных летательных аппаратов.

Гипотеза: Применение метода аэромагнитной съемки с БПЛА-комплексов в современной геологоразведке является наиболее прогрессивным, информативным, экономически целесообразным и безопасным способом.

Методы исследования:

1. Изучение литературы по теме исследования.
2. Анализ полученных данных.
3. Интервью со специалистами.

Научная новизна: применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при ведении геологоразведочных работ дает возможность производить магнитометрическую съемку территории на различных высотных отметках, что позволяет более точно и быстро увидеть изменения магнитного поля и определить характеристики месторождения.

Научно-практическая значимость: материалы, полученные в ходе исследования, можно использовать в работе геологоразведочных служб горно-химических предприятий, в частности, в Кировском филиале АО «Апатит».

Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ

1.1 Поиск залежей твёрдых ископаемых

Существует множество способов разведки залежей полезных ископаемых. Применение каждого из них зависит от качественных характеристик месторождения, природных условий и ландшафта местности. Но вне зависимости от вышеперечисленных факторов проводится геологоразведка, как правило, проводится в шесть этапов [3]:

1. Геофизические и геолого-съёмочные работы.

На стадии геофизических и геолого-съёмочных работ определяются перспективные для разработки участки возможного присутствия полезных ископаемых. После их тщательного изучения начинаются поисковые работы.

2. Поиск месторождений.

В ходе поисковых работ специалисты проводят мероприятия по выявлению определённых видов полезных ископаемых. Поиск месторождений проходит определенные стадии. Сначала он носит общий характер и проводится с целью определения границ месторождения. Затем производится бурение скважин или обустройство горной выработки для геологических исследований, по результатам которых производится оценка потенциалов месторождений. Если поиск увенчался успехом, осуществляется количественный расчет ископаемых.

3. Предварительная разведка.

На этапе предварительной разведки более точно, чем на предыдущих этапах, определяются не только количественные, но и качественные характеристики месторождений и условия их залегания. На этом этапе также производится бурение скважин или обустройство горной выработки для отбора проб.

4. Детальная разведка.

К этому этапу проведения геологоразведочных работ приступают только в том случае, если доказана промышленная и экономическая целесообразность

разработки месторождения. Результатом детальной разведки являются необходимые для промышленной эксплуатации месторождения материалы исследований. Эти материалы должны соответствовать требованиям к «изученности исследуемой зоны, в соответствии с классификацией запасов и прогнозными ресурсами» [3].

5. Доразведка.

Проводится в случае, если существуют недостаточно изученные на вышеперечисленных стадиях участки. Доразведка осуществляется с целью подсчета вновь выявленных запасов или перевода ресурсов в более высокие классы. «При этом строятся глубокие шахты как разведочного, так и эксплуатационно-разведочного назначения». [3]

6. Эксплуатационная разведка.

Одновременно с проходческими работами проводится эксплуатационная разведка с целью подготовки выработок к добыче и уточнения количественных и качественных данных о разрабатываемом месторождении. Основным способом производства данного вида работ является проходка вертикальных, горизонтальных и наклонных выработок.

1.2 Методы геологоразведки

Направление, границы и характер работ по геологоразведке определяются в основном особенностями рельефа, свойствами грунта и наличием подземных вод. Все эти условия можно определить с помощью геологической съемки, которая служит базовой основой для ведения поисковых работ.

Однако даже самые благоприятные прогнозы не позволяют с уверенностью судить о целесообразности разработки месторождений на той или иной территории и не дают данных о точном расположении залежей.

При разведке рудных месторождений геологи для получения исчерпывающей информации ставят своей целью обнаружить прямые признаки нахождения определенного вида полезных ископаемых на

исследуемом участке. Такими признаками могут являться «повышенная концентрация полезного химического элемента в закрывающих месторождение наносах, обломки полезного ископаемого, зона окисления или выщелачивания на выходе полезного ископаемого на поверхности». [5]

Можно сделать вывод о том, что основной задачей геологоразведки является обнаружение «непосредственных проявлений минерализации или прямых признаков полезных ископаемых». [5]

Существует большое количество методов ведения работ по разведке месторождений. Их выбор напрямую зависит от особенностей и геологического строения исследуемой территории.

1.2.1 Метод геологической съемки

Основным методом, применяемом при разведке рудных месторождений, является геологическая съемка. Остальные методы применяются для детализации и уточнения данных, полученных в результате ее проведения.

В процессе съемки геологи изучают практически все обнажения на исследуемой территории. При этом повышенное внимание уделяется участкам, залегание полезных ископаемых на которых наиболее вероятно. В случае недостаточности информации о том или ином участке, создаются искусственные обнажения.

1.2.2 Метод аэрогеологической съемки

В условиях труднодоступности многих потенциально привлекательных для разведки территорий наиболее эффективным является метод аэрогеологической съемки.

Наиболее полное представления о геологических особенностях изучаемых участков такой метод позволяет получить в комплексе с наземной съемкой. Аэрофотооснова позволяет детально изучить все особенности геологического строения исследуемой территории, наличие водоемов,

оврагов, трещин, особенности грунта, площадь залегания полезных ископаемых и их качественный состав.

1.2.3 Обломочный метод

Суть обломочного метода заключается в обнаружении обломков полезных ископаемых вблизи рек, ручьев, оврагов и осыпей. По найденным обломкам геологи находят коренные месторождения. Сложность метода заключается в необходимости исследования всех боковых притоков и оврагов, что усложняет поиски. Также такой метод является весьма неточным и требует проведения дополнительных геологоразведочных мероприятий.

1.2.4 Валунно-ледниковый метод

Валунно-ледниковый метод по своей сути схож с обломочным. Он применяется в основном в тех областях, которые в прошлую геологическую эпоху были скрыты под ледниками. Использование данного метода предполагает исследование движений древних ледников. В результате исследований геологи определяют возможные перемещения валуна полезного ископаемого. При обнаружении нескольких валунов, находящихся на значительном расстоянии друг от друга, часто можно определить веер рассеивания, «точкой» схождения которого является коренное месторождение. Так можно сузить площадь поисков для применения более точных методов с целью уточнения данных о залежах полезных ископаемых.

1.2.5 Шлиховой метод

Шлихом называют остаток тяжелых минералов, полученный в результате сливания излишков воды с частицами глины и более легкими минералами после взбалтывания образца материала.

Шлиховой метод также, как и валунно-ледниковый, похож по методике на обломочный. Применяя такой метод, геологи исследуют песчано-глинистую смесь, которая переносится ручьями и реками, а также может находиться на склонах гор. Изучая минералы, находящиеся в шлихе,

специалисты могут сделать выводы об участке нахождения коренного месторождения.

1.2.6 Металлометрический метод

На участках, где месторождение выходит на поверхность, часто происходит рассеивание полезных ископаемых в результате химического выщелачивания грунтовыми и поверхностными водами, а также разрушения места выхода залежей и образования мелких обломков руды. Этот факт и является основой для применения металлометрического метода. При таком методе исследования геологи берут пробы делювия для определения качественного состава полезных ископаемых.

Необходимо учитывать, что растения впитывают из почвы химические элементы. В этой связи иногда более детальную информацию можно получить, отбирая пробы из золы растений на исследуемой территории.

1.2.7 Геохимический метод

Геохимический метод позволяет получить информацию о том, как распределяются, перемещаются и сочетаются между собой химические элементы. Основная цель этого метода установить количественное соотношение химических элементов изучаемого месторождения, особенности их рассеивания и перемещения. Результатом проведения исследования становятся геохимические карты, на которых наглядно показаны зоны распределения химических элементов.

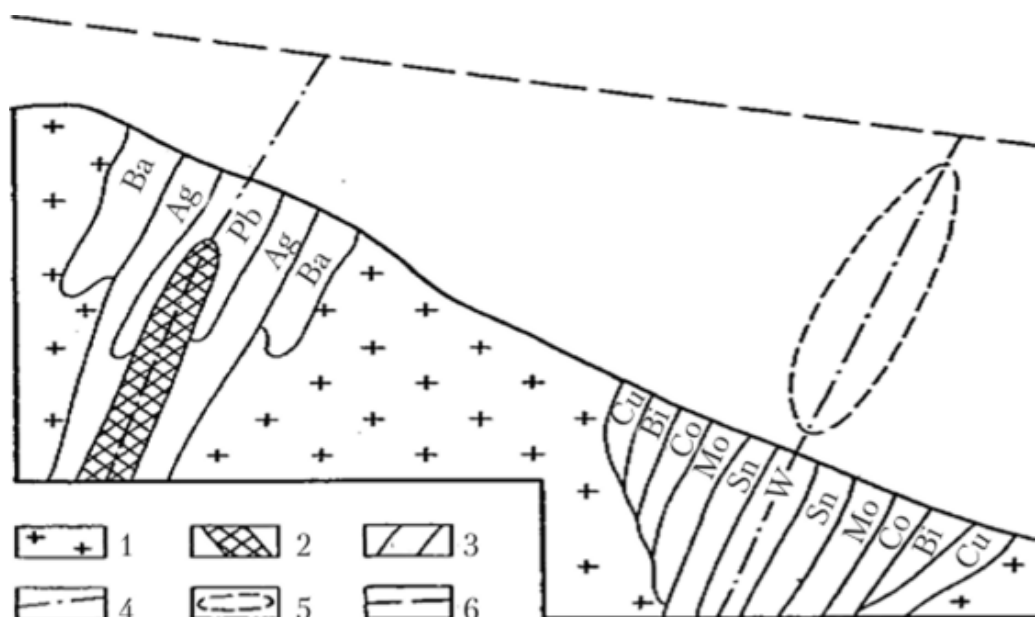


Рис. 1. Модель геохимической зональности первичных ореолов рассеяния (разрез): 1 — граниты, гранодиориты; 2 — рудное тело; 3 — первичные ореолы рассеяния (надрудные — Pb, Ag, Ba, подрудные — W, Sn, Mo, Co, Bi, Cu); 4 — тектоническая зона дробления, совпадающая с осью рудного тела; 5 — эродированное рудное тело; 6 — линия палеорельефа. Источник - А.Г. Милютин. Геология. // <https://studme.org>

1.2.8 Метод искусственных обнажений

После того, как при помощи вышеперечисленных методов геологоразведки установлены участки перспективные для разработки, геологи применяют метод искусственных обнажений. Этот метод, как правило, является завершающим. Его применяют для поиска скрытых выходов месторождений. Метод искусственных обнажений обладает высокой трудоемкостью и стоимостью. Характерной особенностью метода является тот факт, что работы ведутся не на всей территории возможного залегания полезных ископаемых, а только на тех участках, где их нахождение наиболее вероятно и подтверждено при помощи более простых и дешевых методик.

1.2.9 Геофизические методы

Физические свойства вмещающих пород обычно отличаются от физических свойств полезных ископаемых. На этом факте основаны геофизические методы исследований.

Так руда может обладать магнитными свойствами (магнитный железняк), высокой электрической проводимостью (колчеданные руды) или способствовать возникновению естественных электрических токов вследствие окисления на поверхности. Массовые скопления полезных ископаемых с высоким удельным весом вызывают увеличение ускорения силы тяжести, а скопления легких масс – ее уменьшение. Существуют рудные тела способные изменять скорость прохождения сейсмических волн или отражать их.

Следовательно, на участках, где имеются залежи полезных ископаемых, можно увидеть отклонения физических свойств от нормальных, присущих горным породам. Такие отклонения называют аномалиями.

Применение специальных приборов, измеряющих магнитность, электропроводность, ускорение силы тяжести, скорость прохождения сейсмических волн и другие физические величины, позволяет специалистам выявить аномалии, а по последним могут быть выявлены тела полезного ископаемого, вызвавшие аномалию. [5] Для образования аномалии, которую могут выявить геофизические приборы, выход рудного тела на поверхность совсем не обязателен. Влияние на показания приборов для измерения физических свойств месторождений будут оказывать и породы, скрытые наносами, и залегающие на относительно небольшой глубине. Это значит, что геофизические методы позволяют проводить разведку полезных ископаемых, тела которых не обнажаются на поверхности, и, как следствие, не могут быть обнаружены другими методами. [5]

Обнаружить скрытые месторождения можно применяя бурение скважин или разработку глубоких горных выработок. Но, как правило, точное расположение и глубина залегания месторождений неизвестны. Поэтому для получения информации о залежах необходимо провести огромный объем

работ по бурению и проходке. Такие работы обладают высокой трудоемкостью и стоимостью. Стоимость и трудоемкость исследований по выявлению аномалий гораздо ниже. Эти исследования позволяют наметить ограниченные участки территории, на которых целесообразно проводить работы по бурению скважин и проходке горных выработок. Такой подход значительно удешевляет процесс геологоразведки. В этом заключается главное преимущество геофизических методов поисков.

Основными геофизическими методами поиска полезных ископаемых являются:

Гравиметрия — метод, основанный на измерении ускорения силы тяжести при помощи маятника или крутильных весов (вариометра).

Магнитометрия — метод, основанный на измерении магнитного поля и его нарушений при помощи магнитометра и магнитных весов.

Электрометрия (электроразведка) базируется на нескольких методах измерения электрических и электромагнитных искусственных и естественных полей. [5]



Рис. 2. Геофизические исследования (каротажные диаграммы) в разведочных скважинах: 1 — песчаники; 2 — известняки; 3 — алевролиты и аргиллиты; 4 — углистые породы; 5 — каменный уголь. Источник - А.Г. Милютин. Геология. // <https://studme.org>

На практике редко применяют только один метод поисков. Чаще применяется несколько методов совместно, причем выбираются наиболее подходящие для конкретных условий, что дает наилучший эффект.

1.3 Геофизическая съемка с помощью магнитометра

«Магнитометрическая или магнитная разведка (магниторазведка) — это геофизический метод решения геологических задач, основанный на изучении магнитного поля Земли.» [7]

Магниторазведка обладает самой высокой эффективностью по сравнению с другими геофизическими методами исследований. Ее часто применяют не только для поисков залежей полезных ископаемых, но и для составления различных карт, и проведении структурных исследований.

Возможность применения такого метода обусловлена содержанием в рудах в качестве примесей минералов, обладающих ферромагнитными свойствами. Также сами руды часто имеют повышенную магнитную восприимчивость.

Определение параметров магнитного поля рудных месторождений и выявление магнитных аномалий по таким характеристикам, как форма, глубина залегания, магнитная восприимчивость и т.п. — основная задача магниторазведки. Но существует и обратная задача — количественный расчёт тех же параметров известному распределению значений одного или нескольких элементов магнитного поля Земли.

Расшифровка результатов магниторазведки содержит тесно связанные между собой геофизическое и геологическое толкования. На начальном этапе анализируются качественные характеристики аномалий магнитного поля, позволяющие сделать выводы о положении тех или иных геологических элементов, а известные факты о магнитных свойствах горных пород позволяют установить их природу. На следующем этапе происходит оценка количественных характеристик месторождения. [7]

Глава 2. ПЕРЕДОВЫЕ МЕТОДЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДКИ

2.1 Методы геологоразведки, применяемые в КФ АО «Апатит»

Мурманская область отличается суровым климатом и разнообразием природных условий. На Кольском полуострове расположено огромное количество рек, озер, болот, имеются скалистые прибрежные районы и, конечно же, бескрайняя тундра. Хибины по праву могут считаться древнейшим горным массивом на Земле.

В начале 20 века Заполярье привлекло к себе внимание геологов. Было организовано огромное количество экспедиций, которые доказали наличие пригодных к разработке залежей уникальных полезных ископаемых. Разработка апатитовых месторождений была начата в 1929 году.

Одним из первых горно-химических предприятий Мурманской области является АО «Апатит». В 2020 году АО «Апатит» отметило свое 90-летие. На сегодняшний день оно является одним из самых крупных горно-химических предприятий не только в России, но и в мире.

Чтобы лучше понять, какие методы геологоразведки применяются в настоящее время, а также с какими трудностями сталкиваются геологи в своей работе, специалистам Кировского филиала АО «Апатит» был задан ряд вопросов:

1. Какие методы геологоразведки применяются в КФ АО «Апатит»?
2. Каковы их основные плюсы и минусы?
3. С какими проблемами, по Вашему мнению, могут столкнуться геологи в процессе геологоразведки?

Проанализировав их ответы можно сделать следующие выводы.

В Кировском филиале АО «Апатит» применяется комплекс различных геофизических методов геологоразведки, а именно:

- магниторазведка;
- гравиразведка;
- сейсморазведка;

- структурно-поисковое бурение скважин с опробованием для определения химического и минерального состава.

Такой подход позволяет получить наиболее полную картину присутствия полезных ископаемых.

Основными плюсами применения вышеуказанных методов являются:

- возможность комплексного зондирования до глубины 2 – 3 км;
- возможность получения геологических разрезов внешних границ рудных залежей;
- возможность определения химического и минерального состава руд.

Главными проблемами при проведении геологоразведки специалисты называют обводненность месторождений и их сложное геологическое строение. Также одной из основных проблем при геологоразведке является труднодоступность многих перспективных для разработки месторождений.

В таких сложных природно-климатических условиях наиболее безопасными и экономически целесообразными являются аэрогеофизические технологии геологоразведки, позволяющие проводить работы в довольно высоком темпе без потери качества полученных информационных данных.

2.2 Аэрогеофизические технологии

Применение комплекса дистанционных методов измерения магнитного поля с помощью летательных аппаратов открывает позволяет геологам в короткие сроки и с высокими показателями точности проводить магниторазведку перспективных для разработки месторождений, находящихся в труднодоступных условиях арктических территорий.

Отличительной особенностью аэрогеофизических средств разведки является возможность применения комплекса геофизических методов проведения дистанционных исследований. При этом полученные данные обладают высокой статистической точностью. Точность плановой и высотной привязки результатов измерений обеспечивается применением спутниковых навигационных систем. [8]

В последнее время происходит увеличение доли аэрогеофизических работ в общей структуре геологоразведки, однако рост объёмов аэрогеофизических съёмок в России меньше среднего мирового уровня.

Одна из причин этого состоит в высокой стоимости эксплуатации носителей геофизических платформ (это вертолеты МИ-8, КАА-226, самолеты АН-24, АН,-26, АН-30, ТУ-204-330 и др.), сложности привлечения авиационной инфраструктуры, наличие или создание специальных взлётно-посадочных площадок в районах проведения исследований и, как следствие, ограничение доступа широкого круга исследователей к этой технологии.

Существенным недостатком аэромагнитной съёмки можно считать весьма широкий взгляд на исследуемую территорию. В наземной, и в аэросъёмке используются однотипные магнитометры с предельной частотой измерения: 20 раз в секунду. [8] В этом случае «расстояние между точками измерения во столько же раз больше, во сколько раз скорость перемещения датчика на самолете больше скорости передвижения пешехода». [8] Но измеряя магнитные поля с высоты птичьего полета, геологи сталкиваются с проблемой наложения магнитных полей от всех тел друг на друга. Поэтому в результате таких измерений карта магнитного поля отражает только крупные объекты, обладает низкой четкостью и выглядит «размазанной». Одним словом, можно резюмировать следующее: чем выше производится аэросъёмка, тем меньше детализация карты магнитного поля.

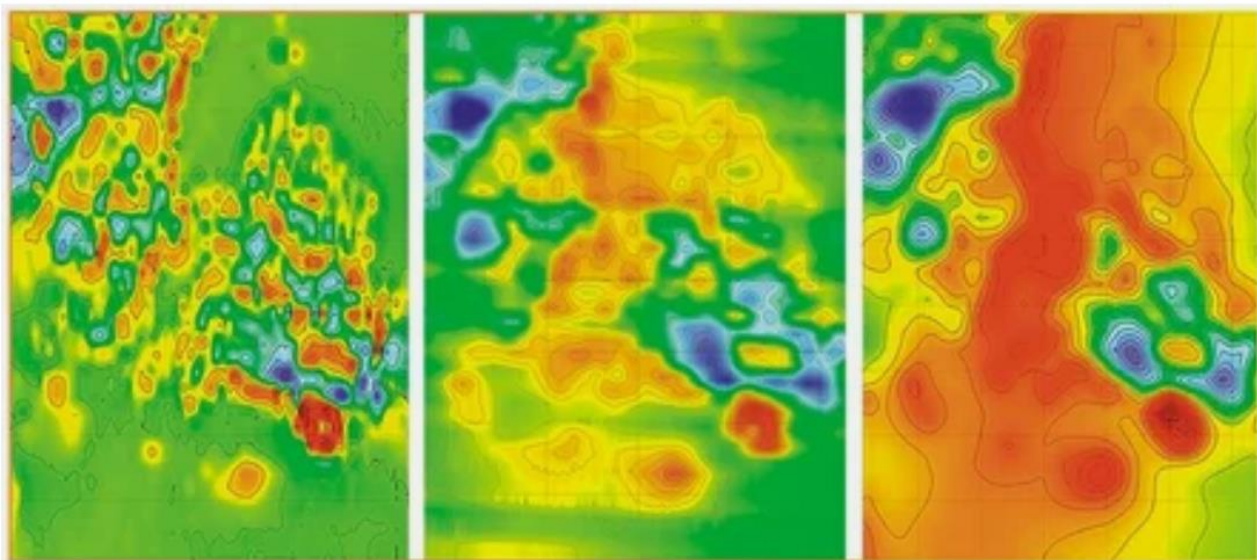


Рис. 3. Карты аномального магнитного поля, полученные в ходе пешеходной съемки (слева), с помощью БПЛА (в центре) и в ходе аэросъемки (справа). Источник - М.И. Эпов, И.Н. Злыгостев. Применение беспилотных летательных аппаратов в аэрогеофизической разведке.// Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. №3. <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-v-aerogeofizicheskoy-razvedke>

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при выполнении аэромагнитной съемки ведет к значительному снижению стоимости геологоразведки (особенно на начальных этапах), сокращению времени, необходимого для выполнения работ, а также позволяет получить более качественные и полные данные.

В результате съемки, проводимой с использованием БПЛА, геологи получают точные данные об особенностях исследуемого участка. Существует множество инструментов, позволяющих построить цифровую модель местности, ортофотопланы, 3D-модели. [8]

На съемку одного объекта с помощью квадрокоптера необходимо затратить около 15 минут. При этом по окончании съемки существует возможность немедленного построения модели. Обработка данных также не отнимает много времени и занимает около 1,5 часов. Специалисту лишь необходимо загрузить полученные снимки в специализированную программу.

Программное обеспечение предусматривает автоматическое построение трехмерной модели по заданным координатам. [10]

Разведка месторождений с больших высотных отметок – основная задача аэрогеофизических комплексов. Квадрокоптеры же используются преимущественно для оценки объемов полезных ископаемых.

Применение дронов для геологоразведочных работ значительно удешевляет процесс поиска по сравнению с буровыми или сейсмическими способами. Важно учитывать, что применение БПЛА для разведки месторождений не является лицензируемым видом деятельности и может использоваться на предварительной стадии. Это позволяет сырьевым компаниям принять решение о целесообразности разработки того или иного месторождения.

2.3 Аэромагнитная съемка с БПЛА

В настоящее время работы по геологоразведке обычно выполняются в следующей последовательности:

- проводят масштабную магнитную съемку при помощи большой авиации с целью выявления аномалий;
- затем на участках с выявленными аномалиями проводят наземную съемку для получения более детальных данных. В процессе такой съемки определяются границы предполагаемой зоны залегания. Также на этом этапе необходимо точно измерить расстояние между точками детальных исследований на следующем этапе;
- далее проводятся геофизические съемки в каждой намеченной точке, в результате которых фиксируются точные значения магнитного поля и координаты.

Необходимо помнить, что работы по геологоразведке проводятся, как правило, на труднодоступных территориях с суровыми климатическими и природными условиями. Но именно эти территории в настоящее время являются наиболее интересными с точки зрения разведки месторождений. В

связи с этим вышеописанный метод является очень трудоемким и дорогостоящим.

Применение БПЛА в комплексе с геофизическим оборудованием помогает интегрировать преимущества наземных методов геологоразведки с дистанционными. Квадрокоптер может проводить съемку с различных высотных отметок. Предельно малые высоты при этом не являются для него ограничивающим фактором, поэтому существует возможность проведения исследований с огибанием рельефа. Дрон на основании данных со спутника способен самостоятельно определять координаты точек измерения. [6]

Применение технологии аэромагнитной съемки с БПЛА позволяет в значительной степени снизить трудоемкость и затраты на проведение работ по разведке полезных ископаемых без ущерба для качества измерения магнитных полей на исследуемых участках. Сравнение выполнения аэромагнитной разведки различными методами представлено в таблице 1 и на рисунке 4.

Параметр	Наземная съемка	Съемка с БПЛА	Большая авиация
Максимальный объем работ	мало	средне-много	много
Минимальный объем работ	любой	мало	большой
Стоимость работ	дорого	низко	дорого-средне
Точность	низкая, высокая подверженность шуму	высокоточная, прецизионная	средняя, сложная компенсация помех
Производительность (км/день)	в среднем 15	до 220	до 1000
Подготовка к работам	сложная	простая	сложная / дорогая
Человеческий фактор	высокая вероятность ошибки	отсутствует	средняя вероятность ошибки, риск жизни экипажа

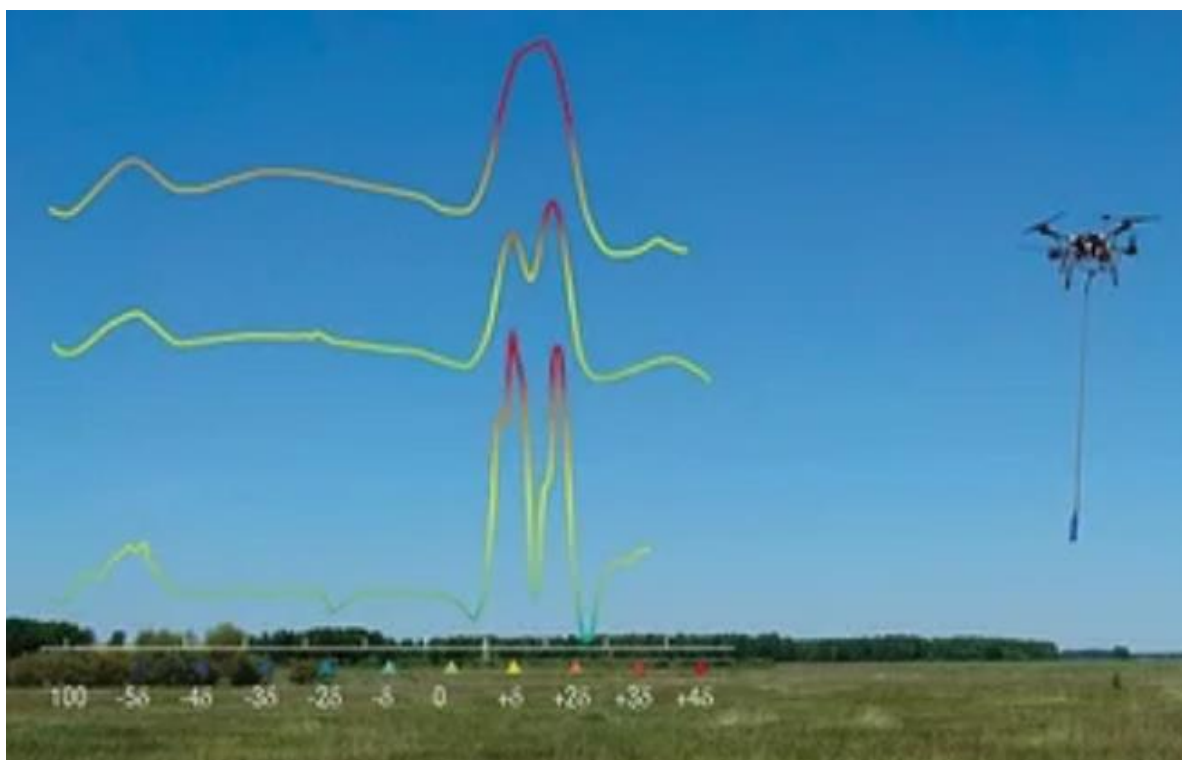


Рис. 4. Сравнение аномального магнитного поля, зафиксированного в ходе аэросъемки, съемки с беспилотника и наземной съемки на профиле. На графике видно, что беспилотник и наземная съемка зафиксировали две узкие аномалии, которые на карте, полученной с самолета слились в одну. Источник - <https://russiandrone.ru/publications/magnitorazvedchik-nam-sverkhu-vidno-vse/>

Применение БПЛА-комплексов для проведения магнитометрической съемки обладает рядом важных преимуществ [6]:

- возможность ежедневно выполнять 12-16 вылетов и обследовать около 200 погонных километров территории, что обеспечивается простотой замены аккумуляторных батарей;
- высокая точность измерений вне зависимости от особенностей рельефа;
- наглядный результат, обеспечиваемый возможностью построения трехмерных полей, значительно увеличивает степень эффективности работ;

- при построении маршрута учитываются особенности ландшафта и растительности, что позволяет значительно снизить или исключить вероятность повреждений оборудования;

- съемка выполняется более плавно и на некотором удалении от земной поверхности, что в разы уменьшает степень влияния сильномагнитных приповерхностных объектов на точность полученных данных (рис.5);

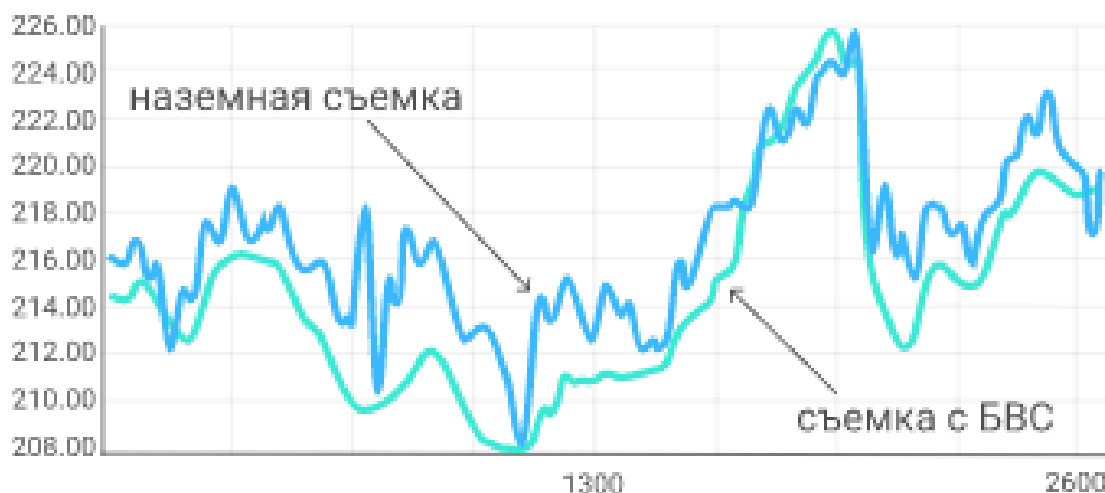


Рис. 5 Сравнение данных аномального магнитного поля. Источник - материал «Магнитометрическая съемка с БПЛА» с сайта компании «Геоскан» <https://www.geoscan.aero>.

- применение БПЛА позволяет магнитометру перемещаться на одинаковом расстоянии от поверхности вне зависимости от рельефа (огибание рельефа). Скорость полета дрона наиболее подходит для получения требуемой частоты отсчетов (рис.6).

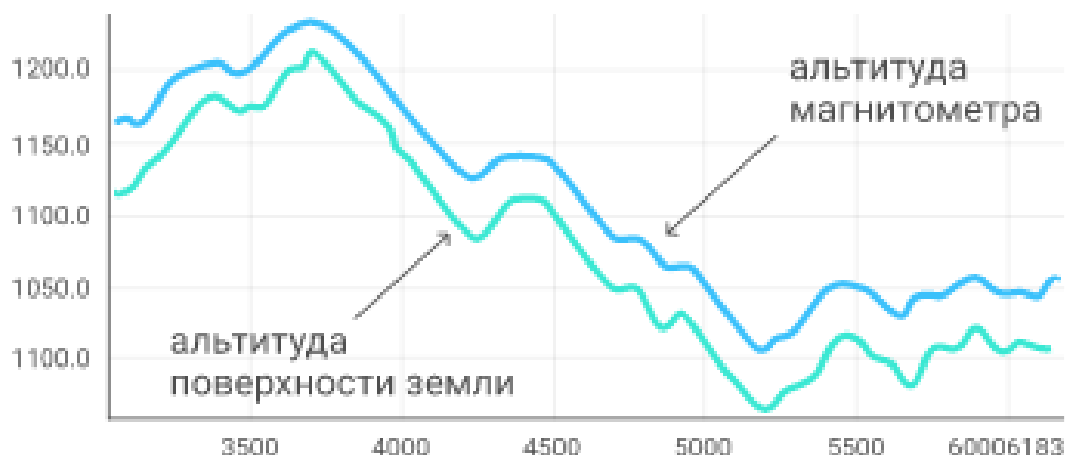


Рис. 6. Результаты с детальным огибанием рельефа. Источник - материал «Магнитометрическая съемка с БПЛА» с сайта компании «Геоскан» <https://www.geoscan.aero>.

Для проведения анализа результатов, полученных с использованием различных методов, была проведена геофизическая съемка с помощью квантового магнитометра MMC-214 с использованием авиации (масштаб 1:25000) и с использованием комплекса Геоскан 401 Геофизика, где в качестве носителя использовался БПЛА (масштаб 1:10000) (рис.7). [6]

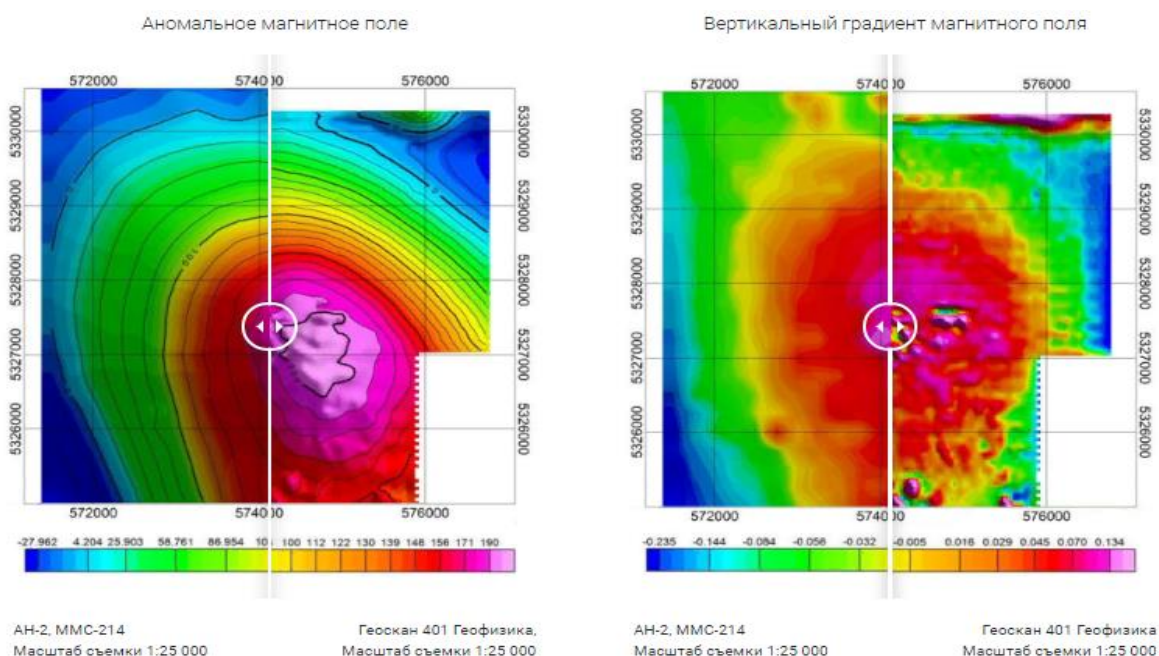


Рис. 7. Сравнение результатов геофизической съемки. Источник - материал «Магнитометрическая съемка с БПЛА» с сайта компании «Геоскан» <https://www.geoscan.aero>.

На рисунке отчетливо видно, что, применяя БПЛА-комплексы, в результате получаем более детальную и четкую карту магнитного поля, нежели при использовании большой авиации. Таких результатов возможно добиться, снизив скорость съемки и уменьшив высоту полета.

Возможность представления результатов аэромагнитной съемки с применением БПЛА-комплексов в виде 3D-модели позволяет в наглядной форме увидеть геологическое строение исследуемой территории, дифференцировать различные геологические структуры по степени их намагниченности, с высокой точностью определить размеры рудного тела и рассчитать его количественные характеристики (рис.8). [6]

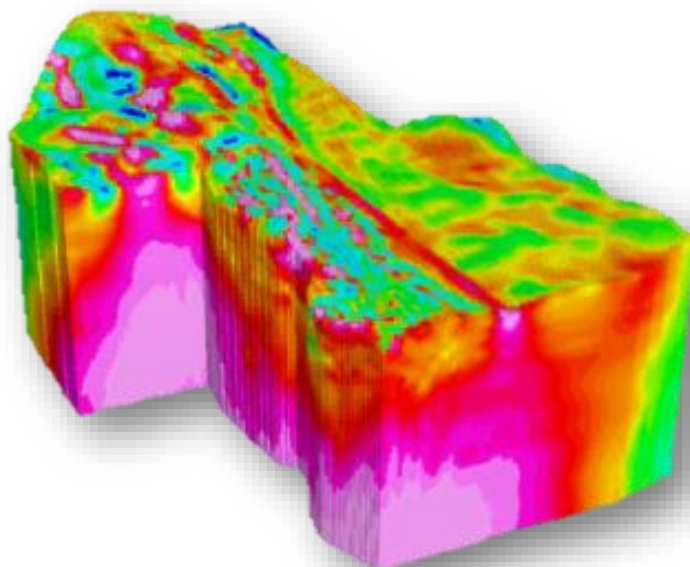


Рис. 8. Объемная модель. Источник - материал «Магнитометрическая съемка с БПЛА» с сайта компании «Геоскан» <https://www.geoscan.aero>.

Для получения необходимой информации об исследуемом месторождении участок предполагаемого залегания исследуют много раз. При этом магнитометрия ведется с различных высотных отметок. Очевидно, что в таком случае применение метода многоуровневой аэромагнитометрии с использованием дрона в качестве носителя оборудования значительно ускоряет и удешевляет процесс. (рис.9).

В результате применения такого метода при помощи специального программного обеспечения существует возможность построения многоуровневой модели магнитного поля. Такая модель чем-то напоминает результат проведения МРТ и позволяет с высокой степенью точности определить качественные и количественные характеристики скрытых месторождений, их форму и положение в пространстве.

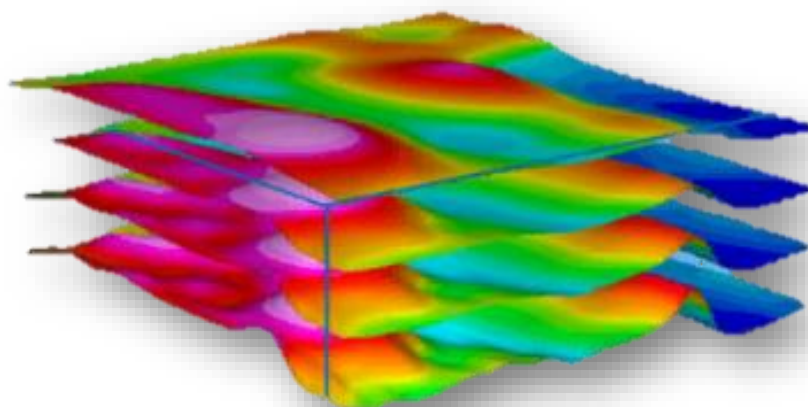


Рис. 9. Многоуровневая модель. Источник - материал «Магнитометрическая съемка с БПЛА» с сайта компании «Геоскан» <https://www.geoscan.aero>.

Лучшие специалисты в области магнитометрии неоднократно проводили проверки точности и достоверности результатов, полученных в результате применения аэромагнитных комплексов. Так в 2016 году были проведены испытания на объектах археологии в Новосибирской области. Проанализировав информацию, полученную в результате применения дрона в качестве носителя магнитометрического оборудования, ученые пришли к выводу, что результаты обладают равными показателями точности по сравнению с наземными способами съемки. При этом существует возможность проведения исследований в дистанционном формате, что в значительной степени снижает опасность травмирования специалистов при проведении съемок в сложных климатических и природных условиях. [12]

Благодаря применению БПЛА-комплексов перед нами открываются новые возможности проведения исследований скрытых месторождений. Одним из наиболее перспективных и принципиально новых можно считать такое направление как геомагнитная томография. Этот метод основывается на возможности проводить магнитную съемку одной и той же территории на разных высотных отметках относительно поверхности земли. Это позволяет более подробно рассмотреть магнитные поля в верхнем (над поверхностью земли) и нижнем (под землей) полупространствах и провести их реконструкцию. «В результате возможно представить картину магнитного поля, включая аномальные участки, в полном «объеме». Такой подход позволяет резко повысить точность интерпретации геомагнитных данных». [12]

2.4 Использование БПЛА-комплексов.

Сегодня беспилотные технологии уже не фантастика. Они прочно вошли в нашу жизнь. Особенно часто их применяют в случаях, когда необходимо провести обследование довольно больших участков со сложным рельефом в достаточно короткие сроки. Применение БПЛА-комплексов позволяет ресурсодобывающим компаниям экономить не только время, но и избавляет их от весьма крупных финансовых затрат.

Все эти факторы привели к тому, что ряд крупных мировых и российских сырьевых компаний начал активное внедрение БПЛА-комплексов в технологические процессы.

Так, в компаниях «Shell» и «BP» создаются удаленные центры управления дронами. Эти компании планируют внедрить БПЛА во все технологические процессы. [13]

Среди российских компаний, внедряющих беспилотники в производственный процесс, можно выделить «Газпром нефть» и «Роснефть», которые используют БПЛА-комплексы не только для геологоразведки

месторождений, но и для других целей. Эти компании создают в своей структуре целые технопарки с инновационным оборудованием. [13]

Дроны показали свою высокую эффективность при ведении работ по контролю за несанкционированными врезками в газопроводы, работ по мониторингу общего технического состояния трубопроводов, что позволяет оперативно реагировать на возможные утечки, а также работ по рекультивации загрязненных земель. Также беспилотники показали свою эффективность при обнаружении очагов возгораний. [14]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При работе над проектом поставленная цель - определить наиболее прогрессивный метод геологоразведки в условиях труднодоступных территорий Арктики – достигнута.

На основании проведенного анализа литературы, и полученных из интервью со специалистами данных можно сделать следующие выводы:

1. Для геологоразведки полезных ископаемых применяется, как правило, комплекс методов, что позволяет получить наиболее полные данные о залежах.

2. Магниторазведка позволяет получить наиболее точные данные о полезных ископаемых без значительных финансовых и временных затрат.

3. До недавнего времени для выполнения аэромагнитных работ в труднодоступных районах приходилось использовать вертолётную технику, что значительно повышало стоимость геофизических исследований.

4. Аэромагнитная съемка с квадрокоптера подходит для самых отдаленных и непроходимых участков местности и незаменима при сильном перепаде высот или заболоченности. Кроме того, при беспилотной съемке исключается риск для здоровья оператора.

Так же в процессе работы была подтверждена гипотеза о том, что применение метода аэромагнитной съемки с БПЛА-комплексов в современной геологоразведке является наиболее прогрессивным, информативным, экономически целесообразным и безопасным способом проведения исследований в условиях труднодоступности территорий Арктики.

Результат работы над проектом: в результате работы над проектом были рассмотрены основные методы геологоразведки, возможность и целесообразность применения беспилотных летательных аппаратов для предварительной оценки перспективных для разработки месторождений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Н.Н. Гришин, О.Н. Крашенинников, О.В. Суворова, Л.Г. Герасимова. Доклад на семинаре «Индустрия строительных материалов на Мурмане: Использование полезных ископаемых Кольского полуострова» в рамках выставки «Экспо Дом 2009» в Мурманске (14-16 мая 2009 г.).// Режим доступа URL: <https://helion-ltd.ru/building-math-seminar-2009/index.php/index.php/index.php/> (дата обращения: 23.09.2020).
2. Информационный некоммерческий ресурс.// Режим доступа URL: <https://catalogmineralov.ru/deposit/hibini/> (дата обращения: 23.09.2020).
3. Разведка полезных ископаемых: как ведут геологоразведочные работы.// Отраслевой портал о горнодобывающей промышленности «Союз горных инженеров»// Режим доступа URL: <http://www.mining-portal.ru> (дата обращения: 27.09.2020 – 05.10.2020).
4. А.Г. Милютин. Геология: Учебник - 2-е изд., доп. - М.: Высш. шк., 2008. - 448 с.: ил.// Режим доступа URL: https://www.studmed.ru/milyutin-ag-geologiya_25032e5f602.html (дата обращения: 27.09.2020 – 05.10.2020).
5. Информационный некоммерческий ресурс fccland.ru// Режим доступа URL: <http://fccland.ru/magnitorazvedka/1558-obschie-zamechaniya-o-primenenii-teorii-magnitnogo-polya-v-magnitorazvedke.html> (дата обращения: 03.10.2020).
6. Материал «Магнитометрическая съемка с БПЛА» [Электронный ресурс] // Режим доступа URL: <https://www.geoscan.aero> (дата обращения: 25.09.2020).
7. В.К. Хмелевской, Ю.И. Горбачев, А.В. Калинин, М.Г. Попов, Н.И. Селиверстов, В.А. Шевнин. Учебное пособие для геологических специальностей вузов. Петропавловск-Камчатский: изд-во КГПУ, 2004, 232 с. Под редакцией доктора геол.-мин. наук Н.И. Селиверстова.// Режим доступа URL: http://www.kscnet.ru/ivs/publication/tutorials/geophys_studies/chapter3.pdf (дата обращения 26.09.2020 - 07.10.2020).
8. М.И. Эпов, И.Н. Злыгостев. Применение беспилотных летательных аппаратов в аэрогеофизической разведке.// Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012.

№3. Режим доступа URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-v-aerogeofizicheskoy-razvedke> (дата обращения: 04.10.2020).

9. Н. Звуйковский. Беспилотные технологии. Применение дронов в нефтегазовой отрасли.// Oil&Gas Journal Russia.// Режим доступа URL: <https://russiandrone.ru/publications/primenenie-dronov-v-neftegazovoy-otrasli/> (дата обращения: 03.10.2020).

10. В. Лескин. Пролетая над месторождением: БПЛА и аэрогеофизические комплексы. [Электронный ресурс] // Добывающая промышленность №4, 2019. Режим доступа: URL: <https://dprom.online> (дата обращения: 20.09.2020).

11. Информационный некоммерческий ресурс «Арктика – Антарктида»// Режим доступа URL: <https://arktika-antarktida.ru/arktikapolisk.shtml> (дата обращения: 17.09.2020)

12. Фирсов А. П., Злыгостев И. Н., Савлук А. В. и др. Применение беспилотных летательных аппаратов при геолого-геофизическом картировании // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России», 31 марта – 2 апреля, 2015. С. 529—533.// Режим доступа URL: <https://russiandrone.ru/publications/magnitorazvedchik-nam-sverkhu-vidno-vse/> (дата обращения: 07.10.2020)

13. Н. Звуйковский Применение дронов в нефтегазовой отрасли // Информационный некоммерческий ресурс «Российские беспилотники» // Режим доступа URL: <https://russiandrone.ru/publications/primenenie-dronov-v-neftegazovoy-otrasli/> (дата обращения: 27.10.2020)

14. Материал «Беспилотные летательные аппараты в нефтегазовой отрасли» [Электронный ресурс] // Режим доступа URL: <https://rgk-palur.ru/bpla-dron-bespilotnik-foto-oil-gas-neftegazovoj-promyshlennosti/> (дата обращения: 27.10.2020)