



ҚОРШАҒАН ОРТА ИНЖЕНЕРИЯСЫ
ИНЖЕНЕРИЯ ОҚРУЖАУЩЕЙ СРЕДЫ
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2023_3_136
MPHTI 38.57.23

Т.А. Ойцева^{1,2}, М.А. Мизерная¹, О.Н. Кузьмина¹

¹НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева»,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

²ТОО «Геос», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: mizernaya58@bk.ru

E-mail: kik_kuzmins@mail.ru

E-mail: tatiana.oitseva@gmail.com*

**ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА)
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ
(на примере площади Акбастау)**

**МАГНИТОМЕТРИЯЛЫҚ ЖҰМЫСТАРДЫ ОРЫНДАУ КЕЗІНДЕ ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ
АППАРАТТАРЫН (ҰҒА) ҚОЛДАНУ (Ақбастау алаңының мысалы)**

**APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV) WHEN PERFORMING
MAGNETOMETRIC WORK (on the example of Akbastau square)**

Аннотация. Беспилотные технологии воздушного и наземного типа всё активнее проникают в различные отрасли производства, а также в сферу разведки полезных ископаемых. В статье рассматривается применение БПЛА в качестве носителя для современного автоматизированного квантово-рубидиевого магнитометра. Целью исследования является создание эффективного поискового комплекса геофизических методов для поиска стратиформных полиметаллических месторождений на территориях, закрытых мощным чехлом перекрывающих рыхлых отложений (на примере площади Акбастау). Приводится методика и процедура выполнения магнитометрических работ, а также результаты обработки полученного магнитного поля.

Ключевые слова: БПЛА, геофизика, полиметаллы, магнитное поле, площадь Акбастау.

Аңдатпа. Ұшқышсыз ұшу және жерүсті технологиялары әртүрлі салаларға, сондай-ақ пайдалы қазбаларды барлау саласына көбірек енуде. Мақалада қазіргі заманғы автоматтандырылған кванттық рубидий магнитометрі үшін тасымалдаушы ретінде UAV пайдалану талқыланады. Зерттеудің мақсаты – үстіңгі қабаттағы борпылдақ шөгінділердің қалың жамылғысымен жабылған аумақтарда стратиформды полиметалл шөгінділерін іздеудің геофизикалық әдістерінің тиімді іздеу кешенін құру (мысалы, Ақбастау учаскесін пайдалану). Магнитометриялық жұмыстарды орындау техникасы мен тәртібі, сондай-ақ алынған магнит өрісін өңдеу нәтижелері көрсетілген.

Түйін сөздер: ҰАА, геофизика, полиметалдар, магнит өрісі, Ақбастау ауданы.

Abstract. Unmanned aerial and ground-based technologies are increasingly penetrating into various industries, as well as into the field of mineral exploration. The article discusses the use of a UAV as a carrier for a modern automated quantum rubidium magnetometer. The aim of the study is to create an effective search complex of geophysical methods for searching for stratiform polymetallic deposits in areas covered by a thick cover of overlying loose deposits (using the Akbastau area as an example). The technique and procedure for performing magnetometric work, as well as the results of processing the obtained magnetic

field, are presented.

Keywords: UAV, geophysics, polymetals, magnetic field, Akbastau area.

Введение. Площадь Акбастау расположена в Шетском районе Карагандинской области Республики Казахстан. Для описываемой площади характерно развитие комплекса пород, благоприятных для формирования барит-свинцово-цинковой с серебром и другой минерализации, характеризующейся пластовыми и линзовидными рудными телами в известняках, осадочных брекчиях и конгломерат-песчаниковых отложениях фаменского яруса верхнего девона. Наиболее крупные, хорошо изученные представители этого геолого-промышленного типа оруденения – месторождения Акжал и Узынжал [1-6]. Рудное поле Узынжал и само месторождение располагаются в непосредственной близости с площадью Акбастау (рис. 1). Как следствие целью проведения работ является выявление потенциально продуктивных участков на стратиформное колчеданно-полиметаллическое оруденение атасуйского геолого-промышленного типа, необходимость проведения работ диктуется постепенным истощением активных запасов действующих горнодобывающих предприятий региона [7-10].

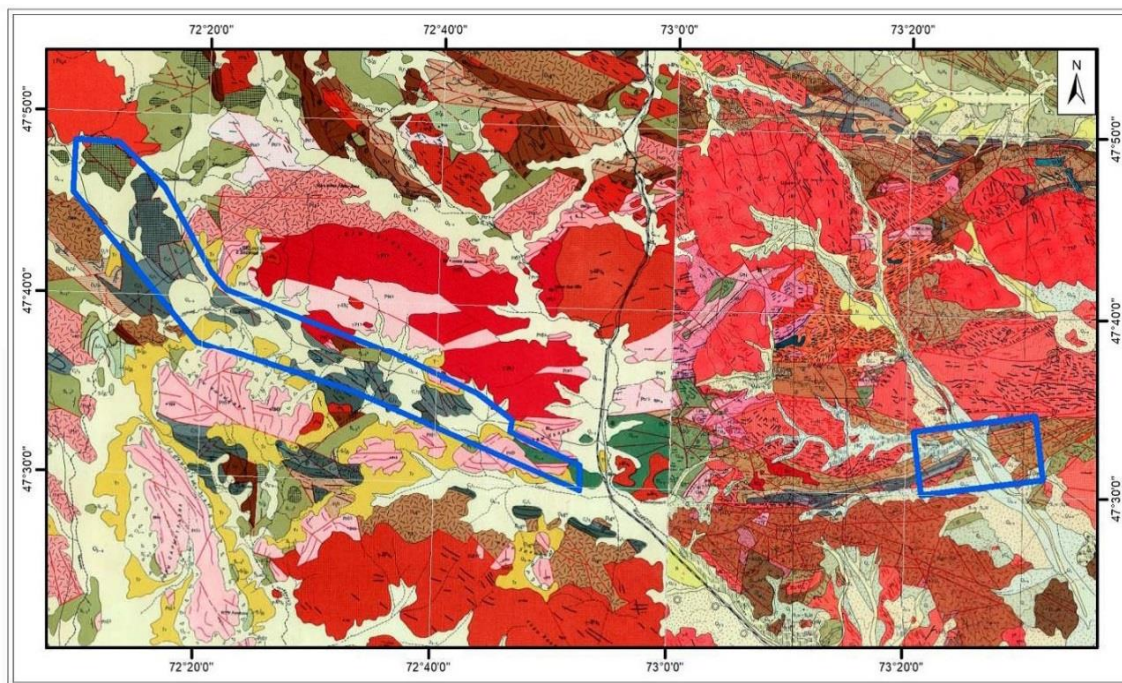


Рисунок 1. Обзорная геологическая карта площади Акбастау

Материалы и методы исследования. Для получения первичной и достоверной картины геологоразведочных работ на такой большой площади целесообразно провести магнитометрические работы. Детальные магнитометрические работы выполнялись с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) мультироторного типа (квадрокоптера) Геоскан 401 (Geoscan-401 «Геофизика») несущим современный автоматизированный квантовый рубидиевый магнитометр (GEOSCAN QM-Rb-1-Aero) [11-15]. В качестве автономной магнитовариационной станции (МВС) используется портативный протонный магнитометр MiniMag (рис. 2).

Процедура выполнения. На начальном этапе, была проведена рекогносцировка площади

проектируемых работ, с целью определения координат объектов, осложняющих выполнение аэромагнитной съемки (промышленные объекты и населенные пункты, линии электропередач (ЛЭП) и т.п.), по результатам рекогносцировки корректировались планы обработки участков.

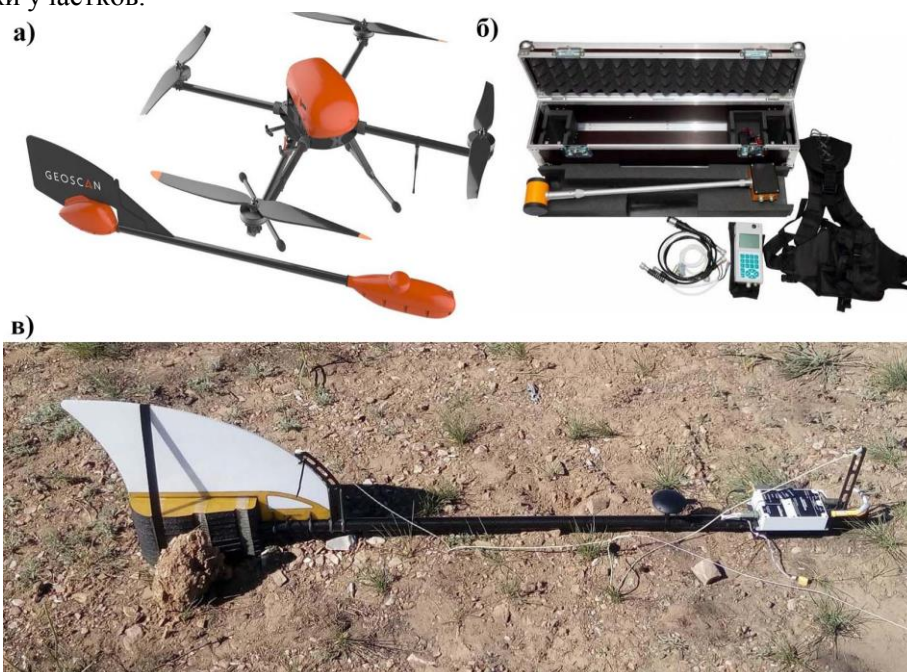


Рисунок 2. Применяемое оборудование: а – комплекс Geoscan-401 «Геофизика»; б – оверхаузеровский магнитометр MiniMag; в – Квантовый рубидиевый магнитометр, установленный на штанге-подвеске.

Магниторазведка проводилась в варианте маловысотной аэромагнитной съемки с применением беспилотного летательного аппарата мультироторного типа (квадрокоптера) Геоскан 401 (Geoscan-401 «Геофизика»). Регистрация магнитного поля выполняется квантовым магнитометром GEOSCAN QM-Rb-1 с рубидиевым магниточувствительным датчиком с оптической накачкой.

В выносной гондole вместе с магнитометром установлен двухчастотный GPS приемник. Антенна GPS приемника закреплена на штанге на расстоянии ~ 1 м относительно датчика магнитометра. Данные магнитометра и позиционирование синхронизируются по времени GPS.

Аэромагнитная съемка была проведена с расстоянием между рядовыми маршрутами 100 м. Для увязки данных аэромагнитной съемки, а также оценки погрешности измерений магнитного поля проведены измерения на опорных маршрутах. Расстояние между опорными маршрутами в среднем 1 км.

Электропитание магнитометрического оборудования и БПЛА во время выполнения работ осуществляется штатными аккумуляторами.

При выполнении съемки магнитометр буксировался квадрокоптером на капроновом шнуре-подвеске длиной 20 м (рис. 3). Двадцатиметровая длина подвески практически полностью исключает влияние квадрокоптера на измерения буксируемого магнитометра.

При высоте полета БПЛА 35 метров, магнитометр находится на расстоянии 15 метров от поверхности земли. Профиль высоты полета беспилотного аппарата задавался согласно

цифровой модели местности, полученной фотограмметрическим методом так, чтобы в процессе съемки магнитометр плавно огибал формы рельефа. Средняя высота магнитометра от поверхности земли составляла 15 ± 5 м. Все высоты определялись в системе координат WGS84, то есть уровнем отсчета является поверхность геоида.



Рисунок 3. Аэромагнитный комплекс Геоскан 401

Рельеф дневной поверхности в пределах участков мелкосопочный. Абсолютные отметки рельефа на площади Акбастау изменяются в диапазоне 659 – 945 м.

Средняя скорость движения магнитометра вдоль маршрута – 10 м/с. Дискретность регистрации магнитного поля бортовым магнитометром – 1000 Гц, GPS координат – 10 Гц. Во время полета «сырые» данные магнитометрии и позиционирования автоматически записываются на съемную карту памяти и после завершения полета «сбрасываются» на компьютер для контроля полноты и качества регистрации. При конвертации первичной записи магнитометра (ПО ГИС «Спутник 1.3»), проводится статистическая обработка «сырых данных» и магнитное поле импортируется в базу данных для дальнейшей обработки. После конвертации «сырых» данных магнитометра в текстовый колоночный файл дискретность записи магнитного поля понижалась до 0,1 сек, что соответствует шагу 0,9-1 м по линии аэрогеофизического маршрута.

Управление беспилотным летательным аппаратом осуществляется наземной станцией управления (НСУ). При взлете БПЛА с магнитометром на высоте 10 метров взлёт

переходит в ручной режим для плавного поднятия магнитометра до высоты 25 метров, затем полёт продолжается в автоматическом режиме. При проведении аэромагнитной съемки БПЛА выполняет взлет, полетное задание и посадку в автоматическом режиме, оператор имеет возможность оперативно изменить полетное задание.

НСУ предназначена для подготовки полетного задания, контроля и управления БПЛА и отображения телеметрической информации, поступающей от БПЛА. Соединение НСУ с БПЛА происходит по каналу радиосвязи. Для передачи команд на автопилот и получения с автопилота данных телеметрии в комплексе используются два приемопередатчика (радиомодема): бортовой и наземный. Время обнаружения видимого бортового модема составляет не более 30 секунд. Основные параметры аэромагнитной съемки представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры аэромагнитной съемки

№ п.п.	Наименование параметра	Описание/значение параметра
1	Вид съемки	Маловысотная аэромагнитная съемка квантовым магнитометром с применением БПЛА коптерного типа
2	Положение участка аэромагнитной съемки	Шетский район Карагандинской области
3	Масштаб съемки	1:10 000
4	Расстояние между рядовыми маршрутами	100 м
5	Расстояние между связующими маршрутами	1000 м
6	Частота/дискретность измерения магнитного поля по линии съемочного маршрута	«Сырые» данные 1000 Гц/ 1 см; Запись в БД после статистической обработки и конвертации 10 Гц/1 м
7	Размер сетки цифровой модели магнитного поля	20x20 м
8	Азимут рядовых маршрутов	37°
9	Длина рядовых маршрутов	От 0,23 км до 7,75 км
10	Длина связующих маршрутов	17,78-58,37 км
11	Общая протяженность аэромагнитных маршрутов	4772,7 км
12	Средняя высота относительно поверхности земли Беспилотного летательного аппарата Магнитометра	Съемка с огибанием рельефа 35 м 15 м
13	Тип беспилотного летательного аппарата	Коптерный, квадрокоптер «Геоскан 401» (ООО «GeoScan», РФ)
14	Тип бортового магнитометра	Геоскан QM Rb-1 – квантовый рубидиевый (ООО «GeoScan», РФ)
15	Тип магнитометра базовой наземной станции	Оверхаузеровский MiniMag (РФ, ООО «ГЕОДЕВАЙС»)
16	Частота/дискретность измерения вариаций геомагнитного поля базовой станцией	5 сек
17	Технология геодезических измерений	GPS
18	Погрешность определения планового	±0,6 м

№ п.п.	Наименование параметра	Описание/значение параметра
	положения магнитометра	
19	Погрешность определения высотного положения магнитометра	$\pm (3-7)$ м

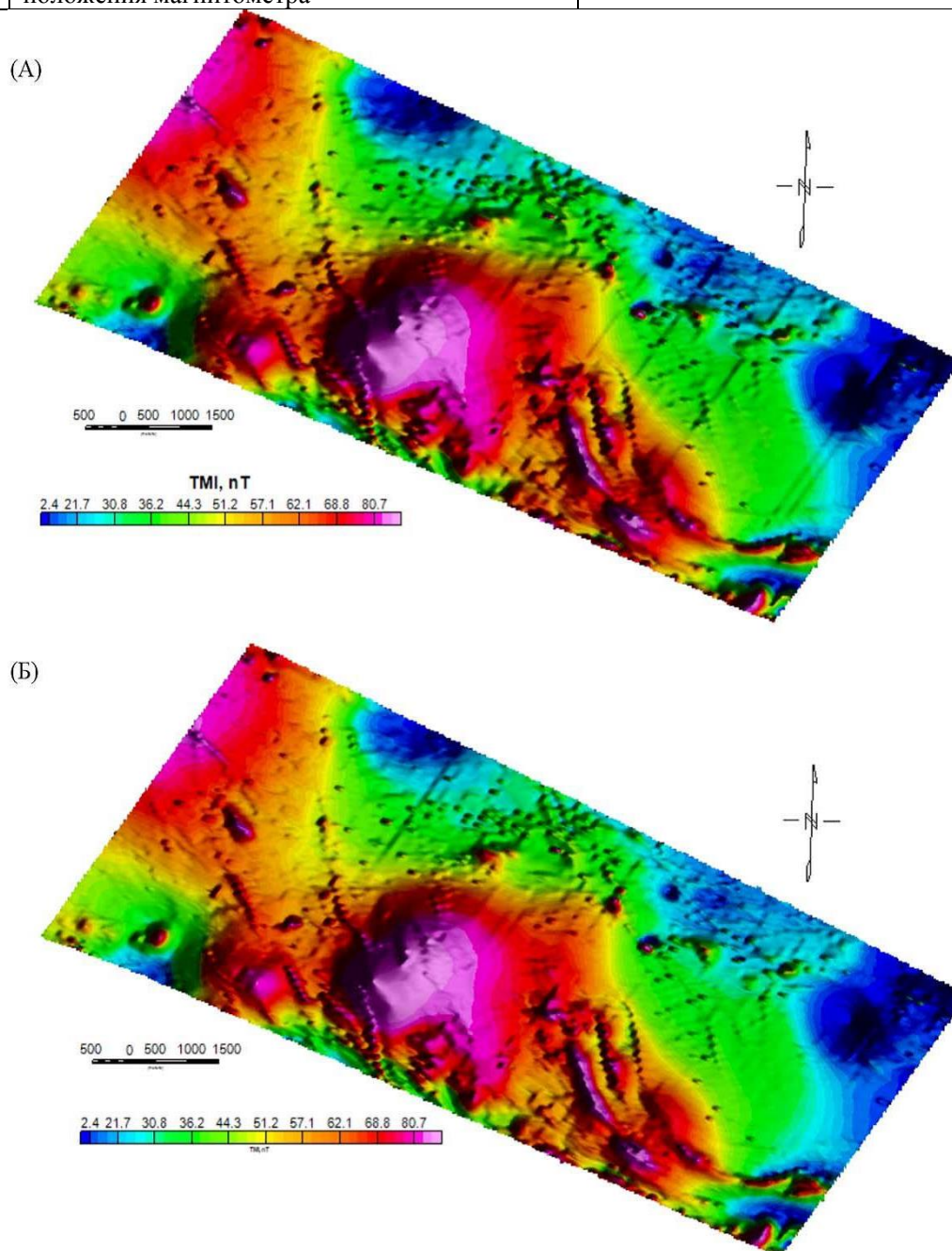


Рисунок 4. Узвзка аэромагнитных данных в центральной части Узынжальского участка: а – карта аномального магнитного поля с теневой отмывкой до уравнивания по опорным маршрутам; б – аномальное магнитное поле после уравнивания. Видно, что большая часть маршрутных «затяжек» в результате уравнивания была удалена

В качестве магнитовариационной станции использовался серийный магнитометр MiniMag оверхаузеровского типа. МВС была уставлена непосредственно на участках съемки. Перед началом съемки были выполнены суточные измерения для определения среднего суточного уровня магнитного поля в точке установки. Этот средний уровень затем использовался для вычисления поправок при учете вариаций магнитного поля в течении всей съемки. Измерения вариаций выполнялись с шагом по времени 5 сек. Для уменьшения влияния случайной погрешности при измерении МВС магнитного поля Земли выполнялось сглаживание магнитовариационной кривой фильтром низким частот шириной в 40 отсчетов. Сглаженная магнитовариационная кривая уже использовалась при вычислении поправок за вариации.

Результаты и их обсуждения. Основным результатом обработки данных аэромагнитной съемки является создание цифровой модели аномального магнитного поля и оценки погрешности полученных результатов измерений геомагнитного поля (рис. 4). Для этого последовательно выполнено несколько видов работ, а именно: создание единой базы данных аэромагнитных наблюдений и разделение наблюдений на отдельные маршруты; введение поправки за суточные вариации геомагнитного поля Земли; вычисление аномального магнитного поля (ΔT)а (поправка за нормальное поле Земли); взаимная увязка опорных и рядовых маршрутов; оценка среднеквадратической погрешности съемки по секущим маршрутам (погрешность m_1) и погрешности, определяемой по повторным измерениям (погрешность m_2); расчет трансформаций аномального магнитного поля.

Магнитометрия использовалась как косвенный поисковый метод, позволяющий уточнить тектонический рисунок площади, благодаря тому, что разрывные нарушения отмечены ступенями магнитного поля и линейно вытянутыми аномалиями горизонтального градиента, а также литологические особенности участка, в силу различных магнитных свойств стратифицированных толщ и магматических комплексов.

По результатам магнитометрии не интерпретируется потенциально перспективного пересечения рудоконтролирующих тектонических структур, а также аномалий, которых можно сопоставить с масштабными зонами гидротермально – метасоматических изменений, в результате чего перспективность описываемых площадей оценена как низкая.

Заключение. Аэрогеофизические технологии отличаются от других геолого-исследовательских технологий высоким темпом обследования труднодоступных территорий, экономичностью, возможностью комплексирования различных геофизических методов дистанционного зондирования и высокой статистической представительностью данных. Использование для привязки результатов измерений спутниковых навигационных систем обеспечивает высокую точность плановой и высотной привязки результатов измерений. На площади Акбастау аэрогеофизические технологии позволили сделать оценку перспективности огромной территории с минимальными затратами для недропользователя, тем самым доказав эффективность их применения.

Исследование выполнено при поддержке Комитета геологии Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (гранты BR10264558).

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность руководству Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева за предоставленную возможность участия в Международной конференции «Наука, образование и практики реализации BIM и ГИС технологий», посвященной 65-летию ВКТУ.

Список литературы

1. Щерба Г.Н., Стучевский Н.И., Нахтигаль Г.П., Антоненко А.Н., Любецкий В.Н. Большой Алтай (геология и металлогения). Геологическое строение // Алматы: Ғылым, 1998. – 304 с.
2. Дьячков Б.А., Мизерная М.А., Пяткова А. П., Бисатова А. Е., Мирошникова А. П., Кузьмина О.Н., Зимановская Н.А., Ойцева Т.А., Черненко З. И. К проблеме формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Отечественная геология, 2021. – С. 3-16.
3. D'yachkov B. A., Mizernaya M. A., Khromykh S. V., Bissatova A. Y., Oitseva T. A., Miroshnikova A. P., Frolova O. V., Kuzmina O. N., Zimanovskaya N. A., Pyatkova A. P., Zikirova K., Ageyeva O. V., Yeskaliyev Y. T. Geological History of the Great Altai: Implications for Mineral Exploration // Minerals 2022, 12, 744.
4. Дьячков Б.А., Кузьмина О.Н., Ойцева Т.А. Геолого-геофизические критерии прогноза рудоносных структур Восточного Казахстана. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летию основания в Томском политехническом институте кафедры «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых», Томск, - 2016. - С. 19-22.
5. Дьячков Б.А., Мизерная М.А., Жунусов А.А., Зимановская Н.А., Кузьмина О.Н., Бисатова А.Е., Ойцева Т.А. Разработка научно-методической основы прогнозирования и поиска рудных месторождений на территории Большого Алтая // Геология и охрана недр, №3 (80), 2021, - с. 44-51.
6. Дьячков Б.А., Мизерная М.А., Ойцева Т.А., Сапарғалиев Е.М., Кузьмина О.Н., Зимановская Н.А. Закономерности формирования и критерии прогнозирования рудоносных структур восточного Казахстана // Материалы четвертой международной научной конференции «Корреляция алтаид и уралид: глубинное строение литосферы, стратиграфия, магматизм, метаморфизм, геодинамика и металлогения», Новосибирск, 2018. – С. 58-60.
7. Гокоев А. Г., Чабдаров Н. М. Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200 000, серия Прибалхашская, лист L-43-I // Москва, 1959.
8. Прописнов Н.А., Тевс А.А., Буртубаев А.Т. и др. Отчет по региональным геофизическим работам масштаба 1:50000 по площади листов L-43-14; 15-А, Б; 16-А, Б, за 1975-78 гг. (отчет Акбастауской и Агадырской ГФП, Агадырский р-н, Джезказганская обл.), 1979 г.
9. Катаев В.Н., Тевс А.А., Зубарь В.И. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые района гор Кызылтау-Жалпак-Адыр. Сводный отчет Аксарлинской ПСП и Аиртауской ГФП о результатах геологической съемки, геологического доизучения, региональных геофизических работ масштаба 1:50000 и детальных поисковых работ масштаба 1:10000, проведенных в 1984-1989 гг. на Кызылтау-Жалпак-Адырской площади (в 4-х книгах). Лист L-43-I-A, Б, В, Г-а, в; - 2-А, Б; -4-А, Б, В, Г; -4-В, Г. // Агадырская ГРЭ, 1990.
10. Шувалов И.Г., Тевс А.А., Катаев В.Н. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые Акбастауской зоны разломов. Отчет Узунжальской ПСП о результатах геологического доизучения, региональных геофизических работ масштаба 1:50000, проведенных в 1978-1991 гг. на площади Акбастауской зоны разломов (в 5 книгах). Листы L-43-13-А, Б, В, Г; - 14-А, Б, В, Г; - 15-В, Г; - 16-В, Г. // Агадырская ГРЭ, 1991.
11. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка) // М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1981. – 263 с.
12. Шнейдер И.Ю., Ячков В.З., Иванова А.И. и др. Объяснительная записка к гравиметрической карте L-43-I, L-43-II, КГГТ, Москва, 1993.
13. Объяснительная записка к сводному отчету по рудному полю месторождения Узунжал 1957-1963 гг. // Агадырская ГРЭ, 1965.
14. Методическое руководство по проведению гравиметрических исследований при геологоразведочных работах. Астана: Комитет геологии и недропользования МЭМР РК, 2008 г. – 130 стр.
15. Отчет о результатах опытно-методических геофизических работ, проведенных на участке месторождения Узунжал в Карагандинской области Республики Казахстан в 2015 г. // ТОО «НПЦ «ГЕОКЕН», Алматы, 2015.

References

1. Sherba G.N., Stuchevskij N.I., Nahtigal' G.P., Antonenko A.N., Lyubeckij V.N. Bol'shoj Altaj (geologiya i metallogeniya). Geologicheskoe stroenie // Almaty: Fylym, 1998. – 304 s.
2. D'yachkov B.A., Mizernaya M.A., Pyatkova A.P., Bissatova A.E., Miroshnikova A.P., Kuz'mina O.N., Zimanovskaya N.A., Oitseva T.A., Chernenko Z.I. K probleme formirovaniya kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenij Rudnogo Altaya // Otechestvennaya geologiya, 2021. – S. 3-16.
3. D'yachkov B.A., Mizernaya M.A., Khromykh S.V., Bissatova A.Y., Oitseva T.A., Miroshnikova A.P., Frolova O.V., Kuzmina O.N., Zimanovskaya N.A., Pyatkova A.P., Zikirova K., Ageyeva O.V., Yeskaliyev Y.T. Geological History of the Great Altai: Implications for Mineral Exploration // Minerals 2022, 12, 744.
4. D'yachkov B.A., Kuzmina O.N., Oitseva T.A. Geologo-geofizicheskie kriterii prognoza rudonosnyh struktur Vostochnogo Kazahstana // Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 70-letiyu osnovaniya v Tomskom politekhnicheskom institute kafedry «Geofizicheskie metody poiskov i razvedki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh». – Tomsk, 2016. – S. 19-22.
5. D'yachkov B.A., Mizernaya M.A., Zhunusov A.A., Zimanovskaya N.A., Kuzmina O.N., Bissatova A.E., Ojceva T.A. Razrabotka nauchno-metodicheskoy osnovy prognozirovaniya i poiska rudnyh mestorozhdenij na territorii Bol'shogo Altaya // Geologiya i ohrana nedr, №3 (80), 2021, - s. 44-51.
6. D'yachkov B.A., Mizernaya M.A., Oitseva T.A., Sapargaliev E.M., Kuzmina O.N., Zimanovskaya N.A. Zakonomernosti formirovaniya i kriterii prognozirovaniya rudonosnyh struktur vostochnogo Kazahstana // Materialy chetvertoj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Korreljaciya altaid i uralid: glubinnoe stroenie litosfery, stratigrafiya, magmatizm, metamorfizm, geodinamika i metallogeniya», Novosibirsk, 2018. – S. 58-60.
7. Gokoev A.G., Chabdarov N.M. Ob"yasnitel'naya zapiska k geologicheskoy karte SSSR masshtaba 1:200 000, seriya Pribalhashskaya, list L-43-I. Moskva, 1959.
8. Propisnov N.A., Tevs A.A., Burtubaev A.T. i dr. Otchet po regional'nyh geofizicheskim rabotam masshtaba 1:50000 po ploshchadi listov L-43-14; 15-A, B; 16-A, B, za 1975-78 gg. (otchet Akbastauskoj i Agadyrskoj GFP, Agadyrskij r-n, Dzhezkazganskaya obl.), 1979 g.
9. Kataev V.N., Tevs A.A., Zubar' V.I. i dr. Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye rajona gor Kyzyltau-ZHalpak-Adyr. Svodnyj otchet Aksarlinskoj PSP i Airtauskoj GFP o rezul'tatah geologicheskoy s"emki, geologicheskogo doizucheniya, regional'nyh geofizicheskih rabot masshtaba 1:50000 i detal'nyh poiskovyh rabot masshtaba 1:10000, provedennyh v 1984-1989 gg. na Kyzyltau-ZHalpak-Adyrskoj ploshchadi (v 4-h knigah). List L-43-I-A, B, V, G-a, v; -2-A, B; -4-A, B, V, G; -4-V, G. // Agadyrskaya GRE, 1990.
10. Shuvalov I.G., Tevs A.A., Kataev V.N. i dr. Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Akbastauskoj zony razlomov. Otchet Uzunzhal'skoj PSP o rezul'tatah geologicheskogo doizucheniya, regional'nyh geofizicheskih rabot masshtaba 1:50000, provedennyh v 1978-1991 gg. na ploshchadi Akbastauskoj zony razlomov (v 5 knigah). Listy L-43-13-A, B, V, G; - 14-A, B, V, G; - 15-V, G; - 16-V, G. // Agadyrskaya GRE, 1991.
11. Instrukciya po magnitorazvedke (nazemnaya magnitnaya s"emka, aeromagnitnaya s"emka, gidromagnitnaya s"emka) //M-vo geologii SSSR. – L.: Nedra, 1981. – 263 s.
12. Shnejder I.YU., Yachkov V.Z., Ivanova A.I. i dr. Ob"yasnitel'naya zapiska k gravimetricheskoy karte L-43-I, L-43-II, KGGT, Moskva, 1993.
13. Obyasnitel'naya zapiska k svodnomu otchetu po rudnomu polyu mestorozhdeniya Uzunzhal 1957-1963 gg. // Agadyrskaya GRE, 1965.
14. Metodicheskoe rukovodstvo po provedeniyu gravimetricheskikh issledovanij pri geologorazvedochnyh rabotah. Astana: Komitet geologii i nedropol'zovaniya MEMR RK, 2008 g. – 130 str.
15. Otchet o rezul'tatah opytno-metodicheskikh geofizicheskih rabot, provedennyh na uchastke mestorozhdeniya Uzunzhal v Karagandinskoj oblasti Respubliki Kazahstan v 2015 g. // TOO «NPC «GEOKEN», Almaty, 2015.