

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный университет»  
Кафедра геофизики

**Геофизические и петрофизические  
исследования - методика, результаты,  
интерпретация**

МАТЕРИАЛЫ ЕЖЕГОДНОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ КАФЕДРЫ ГЕОФИЗИКИ ВОРОНЕЖСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

(г. Воронеж, 20-21 апреля 2023 г.)

Под редакцией кандидата геолого-минералогических наук,  
доцента В.И. Жаворонкина,  
доктора технических наук, профессора О.М. Муравиной

Воронеж

Издательско-полиграфический центр

«Научная книга»

2023

УДК 550.83

ББК

**Геофизические и петрофизические исследования - методика,**

**результаты, интерпретация** [Текст]: материалы ежегодной молодежной научной конференции кафедры геофизики Воронежского государственного университета (Воронеж, 20-21 апреля 2023 г.) / под ред. В.И. Жаворонкина, О.М. Муравиной. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2023. – 73 с.

ISBN

В сборнике материалов «Геофизические и петрофизические исследования: - методика, результаты, интерпретация» представлены научные доклады, сделанные на ежегодной конференции, проходившей на кафедре геофизике 20-21 апреля 2023 г. В работе конференции принимали участие студенты, обучающиеся по программе бакалавриата и магистратуры.

Тематика докладов касалась проблем полевой геофизики, петрофизических исследований, моделирования геофизических полей, методов обработки и геологической интерпретации материалов.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов-геофизиков.

УДК

ББК

Воронежский государственный университет, кафедра геофизики

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Агаркова М.А.</i> Тепловые свойства архейских пород северо-востока Балтийского щита.....	5
<i>Агеев М.Н.</i> Применение беспилотных летательных аппаратов при проведении электромагнитных зондирований для решения геолого-съемочных задач.....	11
<i>Дорохова Ю.В.</i> Эффективность применения магниторазведки при поисках месторождений углеводородов.....	16
<i>Завгородний Е.В.</i> Применение геофизических методов при поисках медно-порфировых руд на месторождении каменное (Чукотский АО)...	19
<i>Ильин В.В.</i> Физические свойства пород павловской ассоциации Воронежского кристаллического массива.....	25
<i>Клочков А. Ю., Колупаев И. В.</i> Магнитные свойства горных пород и руд рудопроявления сульфидного никеля Архар (Камчатка).....	32
<i>Куделина В.В.</i> Геофизические поля золото-молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр (республика Тыва) и их природа.....	37
<i>Самойленко В.А.</i> Применение гравиразведки при поисках месторождений никеля (Камчатка).....	45
<i>Синяпкина И.В.</i> Эффективность применения гравиразведки при поисках карстовых полостей.....	48
<i>Сорокин М.А., Ситников Н.Ю.</i> Применение магниторазведки при поисках золоторудных месторождений (Хабаровский край).....	52
<i>Сотников А.А.</i> Комплексование геофизических методов при поисках самородного серебра на участке Хачакчан в пределах Алларо-Сахского рудного узла (Восточная Якутия).....	56
<i>Харин А.Ю., Агаркова М.А.</i> Физическое моделирование трехмерных объектов методами электроразведки .....	62

<i>Харин А.Ю.</i> Петрофизическая модель магматитов новогольского комплекса (Воронежский кристаллический массив.....	66
<i>Чуева А.С.</i> Пространственный анализ петрофизических данных Хоперского мегаблока (Воронежский кристаллический массив.....	70

## ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА АРХЕЙСКИХ ПОРОД СЕВЕРО-ВОСТОКА БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

Агаркова М.А., студентка 3 курса бакалавриата, ВГУ

Рассматриваются результаты исследований тепловых свойств пород ряда глубоких скважин, пробуренных на территории северо-востоке Балтийского щита. Скважина П-1 расположена на перешейке между полуостровами Средний и Рыбачий (северо-запад Мурманской обл.), скважина С-1 расположена в центральной части Кольского п-ова, а скважина СГ-3 находится в северо-западной части Мурманской области, в пределах Печенгской структуры (рис. 1).

Задачей нашего исследования являлось обобщение данных о тепловых свойствах пород архея, полученных по результатам изучения керна глубоких скважин по территории северо-востока Балтийского щита. Изучение тепловых свойств пород региона (Глазнев, 2003; Глазнев, 2004; Глазнев и др., 2022; Kremenetsky et al., 1989) включало измерение теплопроводности образцов керна, определение концентрации радиогенных элементов, определение плотности пород и сопровождалось общим химическим анализом на основные порообразующие окислы. Усреднённые результаты химических анализов архейских пород по скважинам даны в таблице 1, а сводные результаты изучения теплофизических свойств - в таблице 2. Отметим, что по химическому составу все архейские породы верхней коры региона (Глазнев, 2003; Глазнев и др., 2022; Козловский и др., 1984) соответствуют типовым классам основности в ряду от кислых до основных (Rudnick, Gao, 2014).

Максимальное значение теплопроводности, отмеченное для щелочных гранитов скважины С-1, составляет 3,14 Вт/м·К, а минимальные значения установлены для габбро скважины П-1, где средняя величина теплопроводности составляет 1,53 Вт/м·К. Для теплогенерации пород её максимальное значение наблюдается у щелочных гранитов скважины С-1 – 2,48 мкВт/м<sup>3</sup>, а минимальными значениями обладают граниты скважины П-

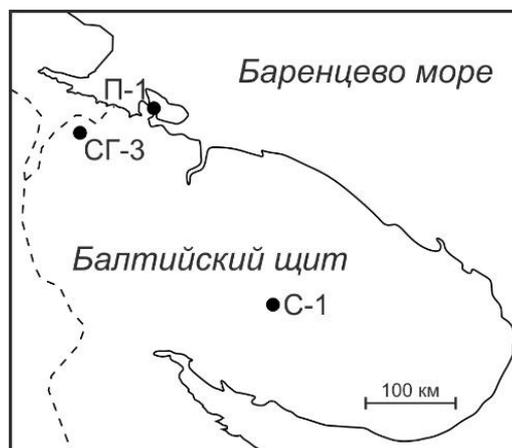


Рис. 1. Глубокие скважины региона

1 – 0,34 мкВт/м<sup>3</sup>. Следует отметить, что породы скважины П-1 отличаются наименьшими средними значениями теплогенерации, тогда как породы скважины СГ-3 имеют в среднем самые большие значения теплогенерации.

Таблица 1

Химический состав пород

Скв.	Породы	SiO <sub>2</sub> , %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	FeO, %	Na <sub>2</sub> O, %	K <sub>2</sub> O, %
П-1	Граниты	69,175	15,14	3,09	2,265	4,66	4,64
	Габбро	53,60	15,05	2,24	7,09	2,13	0,74
	Диориты	42,03	15,70	2,915	8,39	2,09	1,00
	Сиениты	63,485	14,98	1,915	4,56	3,70	1,28
С-1	Щелочные граниты	72,97	11,83	1,91	1,93	3,98	4,81
	Гранитоиды	64,46	13,91	2,10	5,18	4,66	5,06
	Диориты, монцониты	56,52	18,96	1,74	5,39	4,77	1,81
СГ-3	Граниты	72,32	15,31	0,28	1,62	4,29	3,50
	Сланцы амфиболовые	52,73	7,18	2,90	6,78	0,54	0,43
	Плаггиогнейсы	67,35	17,93	0,50	1,99	6,65	1,48
	Амфиболиты	48,15	10,86	3,50	11,33	1,89	0,68

Таблица 2

Плотность и тепловые свойства пород

Скв.	Породы	Кол-во обр.	Глубина, м	Теплопроводность, Вт/м·К	Теплогенерация, мкВт/м <sup>3</sup>	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
П-1	Граниты	19	1113-1630; 1904; 2239	1,99	0,34	2660
	Габбро	3	1728-1749	1,53	0,36	2897
	Диориты	2	1813	1,81	0,37	2660
	Сиениты	8	1983-2066	1,79	0,50	2785
С-1	Щелочные граниты	4	0-220	3,14	2,48	2650
	Гранитоиды	12	220-920	2,52	1,53	2734
	Диориты, монцониты	20	920-2100	1,99	0,59	2833
СГ-3	Граниты	19	Более 11000	2,18	-	2680
	Сланцы амфиболовые	25	6842-7622	2,39	1,4	2790
	Плаггиогнейсы	25	7622-11662	2,21	2,295	2798
	Амфиболиты	25	9573-10144	2,20	1,645	2820

По величинам средних значений теплопроводности породы скважины П-1 отмечается наименьшими показателями, тогда как породы скважины С-1 характеризуются наибольшими значениями этого параметра. Плотность архейских пород региона исследований существенно различна и изменяется в диапазоне от 2650 кг/м<sup>3</sup> для щелочных гранитов скважины С-1, до почти 2900 кг/м<sup>3</sup> для габброидов скважины П-1.

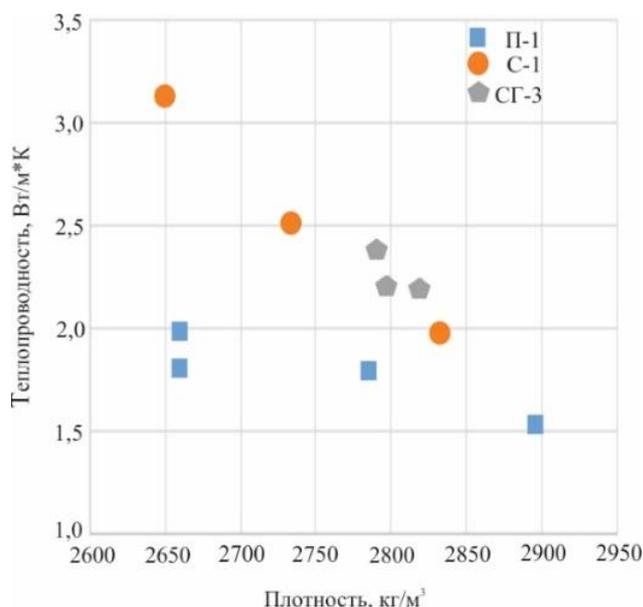


Рис. 2. Корреляция плотности и теплопроводности пород

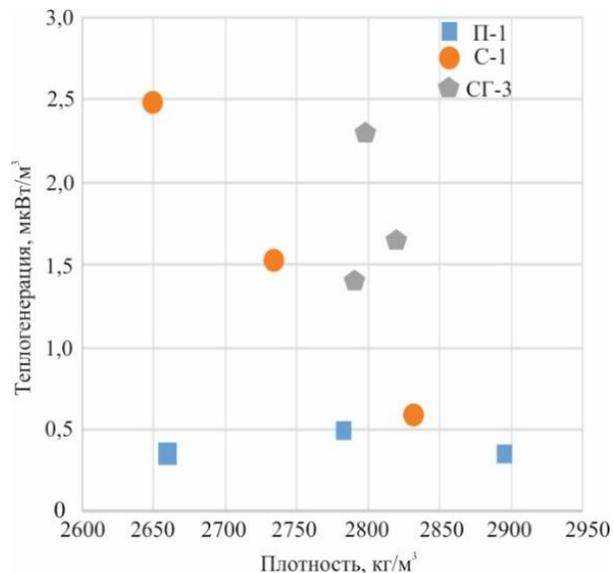


Рис. 3. Корреляция плотности и теплогенерации пород

Данные совместных определений плотности и теплопроводности для архейских пород показывают небольшие различия между скважинами (рис. 2). Для пород скважин С-1 и П-1 отмечается увеличение теплопроводности с уменьшением их плотности.

По данным о концентрации радиогенных элементов в образцах керна пород, были рассчитаны величины их теплогенерации. Корреляция

плотности и теплогенерации пород, приведённая на рис. 3, демонстрирует отличия значений между скважинами. Для пород скважины С-1 наблюдает рост теплогенерации с уменьшением их плотности.

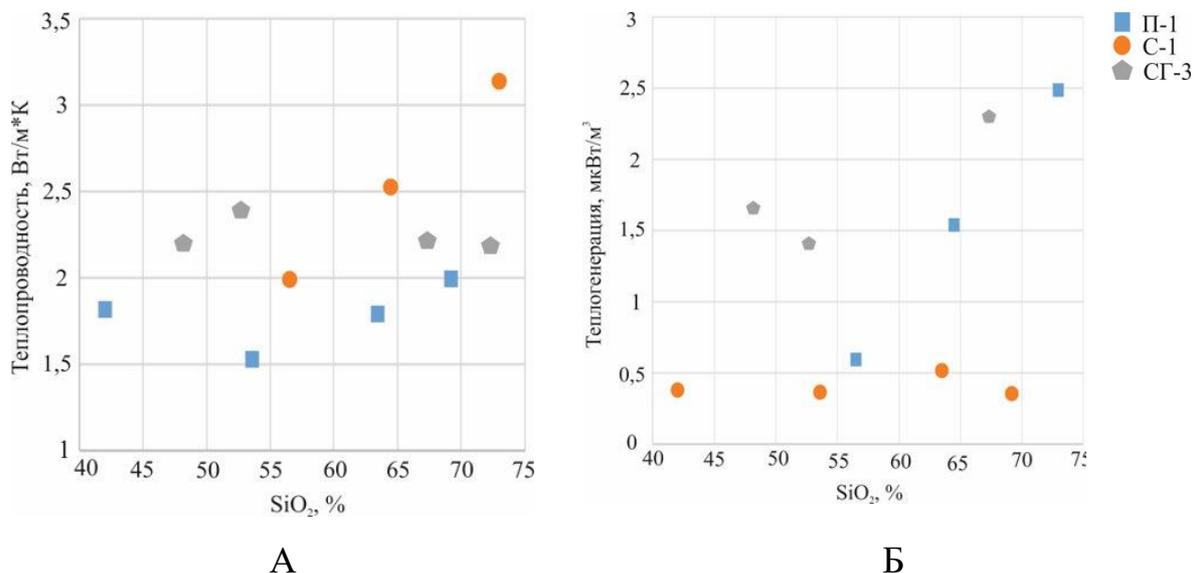


Рис. 4. Корреляция тепловых свойств и содержания SiO<sub>2</sub>: А - теплопроводность, Б - теплогенерация

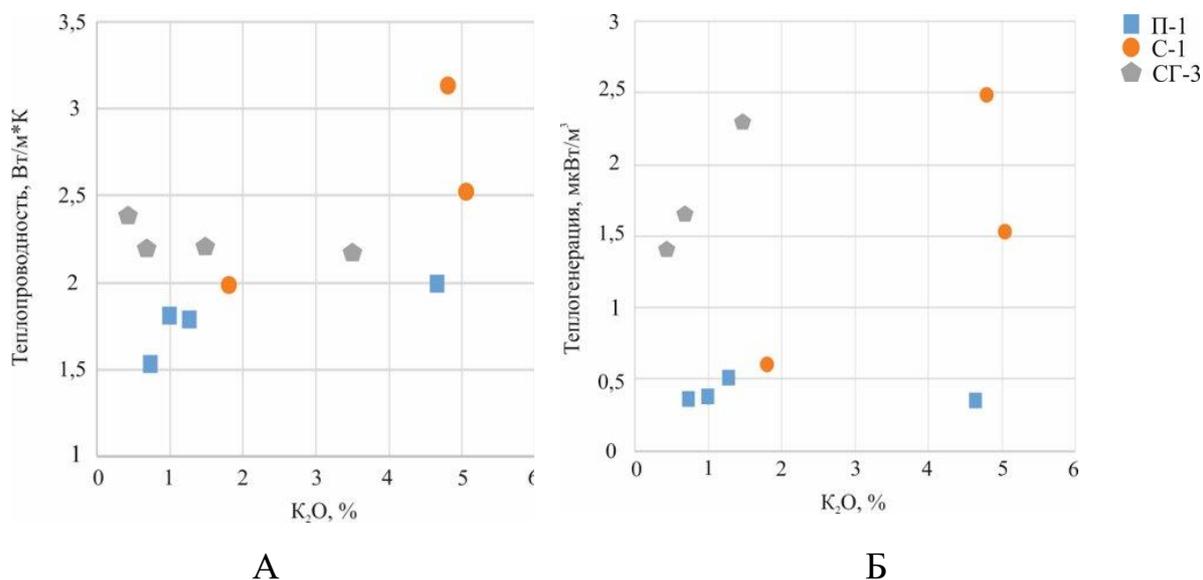


Рис. 5. Корреляция тепловых свойств и содержания K<sub>2</sub>O: А - теплопроводность, Б - теплогенерация

Корреляция тепловых свойств и содержания SiO<sub>2</sub>, приведённая на рис. 4, демонстрирует отличия значений между скважинами. Для пород скважины С-1 характерно увеличение теплопроводности с увеличением

содержания  $\text{SiO}_2$ . Для пород скважины П-1 характерно увеличение теплогенерации с ростом  $\text{SiO}_2$ .

Корреляция тепловых свойств и содержания  $\text{K}_2\text{O}$ , приведённая на рис. 5, демонстрирует отличия значений между скважинами. Для пород скважины СГ-3 характерно увеличение теплогенерации с ростом  $\text{K}_2\text{O}$ .

Корреляция тепловых свойств и содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , приведённая на рис. 6, демонстрирует отличия значений между скважинами. Для пород скважины С-1 характерно увеличение теплопроводности и теплогенерации с уменьшением содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Для пород скважины СГ-3 характерно увеличение теплогенерации с увеличением содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Выполненное обобщение экспериментальных данных по определению тепловых свойств архейских пород северо-востока Балтийского щита, позволили выявить особенности и охарактеризовать наиболее глубокие области верхней коры региона в целом. В целом представленные материалы изучения тепловых свойств, по новым и ранее известным данным, хорошо согласуются с результатами изучения тепловых свойств аналогичных пород территории Финляндии и северной Швеции (Veikkolainen, Kukkonen, 2019; Veikkolainen et al., 2019).

Полученные оценки тепловых свойств пород необходимы для построения более детальных термических моделей земной коры в зоне перехода от собственно Балтийского щита к Баренцевоморской платформе.

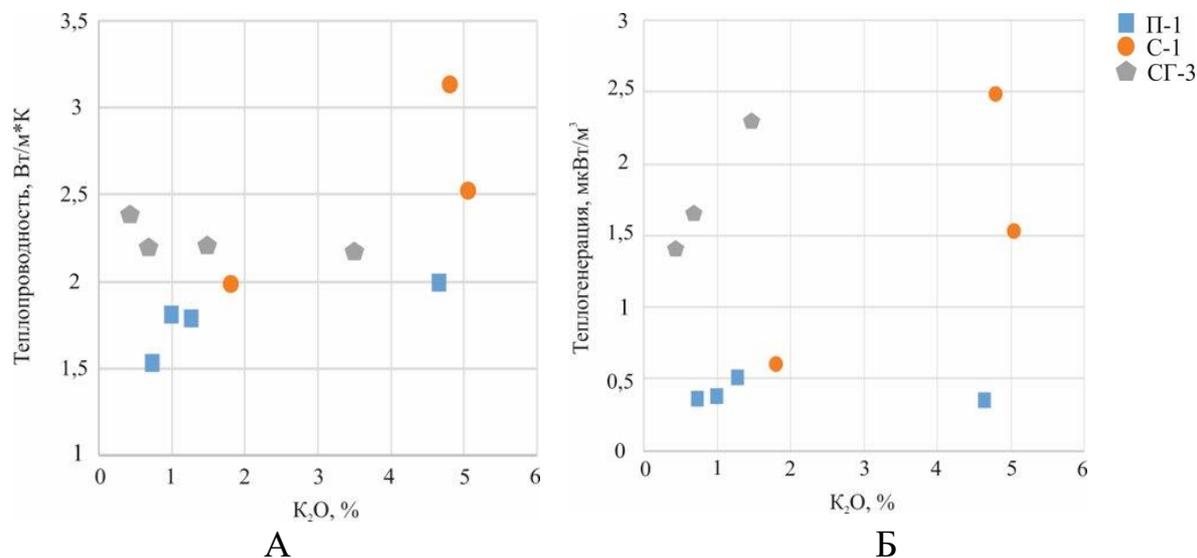


Рис. 5. Корреляция тепловых свойств и содержания  $\text{K}_2\text{O}$ : А - теплопроводность, Б - теплогенерация

Автор выражает благодарность своему руководителю проф. В.Н. Глазеву за предоставленные материалы и полезное обсуждение результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

Глазнев, В.Н. Комплексные геофизические модели литосферы Фенноскандии / В.Н. Глазнев. – Апатиты: «КаЭМ», 2003. – 252 с.

Глазнев, В.Н. Тепловой режим земной коры в зоне перехода от Балтийского щита к Баренцевоморской плите / В.Н. Глазнев, Н.Е. Козлов, Н.О. Сорохтин, В.И. Жаворонкин, М.А. Агаркова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2022. – № 3. – С. 76–88. DOI: [10.17308/geology/1609-0691/2022/3/76-88](https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/3/76-88)

Глазнев, В.Н. Новые данные о тепловом потоке в центральной части Кольского полуострова / В.Н. Глазнев, И.Т. Кукконен, А.Б. Раевский, Я. Ёркинен // Доклады РАН. – 2004. – Т. 396, – № 1. – С. 102-104.

Козловский, Е.А. Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения сверхглубокой скважины / Е.А. Козловский [и др.]. – М: Недра, 1984. – 490 с.

Kremenetsky, A.A. A heat generation model for continental crust based on deep drilling in the Baltic Shield / A.A. Kremenetsky, S.Yu. Milanovsky, L.N. Ovchinnikov // Tectonophysics. – 1989. – № 159. – P. 231-246. DOI: [10.1016/0040-1951\(89\)90130-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(89)90130-3)

Rudnick, R.L. Composition of the Continental Crust. In: Treatise on Geochemistry / R.L. Rudnick, S. Gao // Elsevier. – 2014. – № 4. – P. 1-51. DOI: [10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6)

Veikkolainen, T. Highly varying radiogenic heat production in Finland, Fennoscandian Shield / T. Veikkolainen, I.T. Kukkonen // Tectonophysics. – 2019. – 750. – P. 93-116. DOI: [10.1016/j.tecto.2018.11.006](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.11.006)

Veikkolainen, T. Radiogenic heat production analysis of Fennoscandian Shield and adjacent areas in Sweden / T. Veikkolainen, I.T. Kukkonen, J.-O. Näslund // Geophysical Journal International. – 2019. – Vol. 218, – № 1. – 640-654. DOI: [10.1093/gji/ggz186](https://doi.org/10.1093/gji/ggz186)

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГО-СЪЕМОЧНЫХ ЗАДАЧ**

Агеев М.Н., студент 2 курса магистратуры, ВГУ

Геофизические исследования применяются для решения широкого круга задач: изучение структурных особенностей, детальное картирование, в том числе и скрытых структур, а также обнаружение полезных ископаемых. Наземные электроразведочные методы являются высококачественными и надежными, однако их применение на площадях порядка десятков и сотен километров неэффективно по экономическим соображениям.



*Рис.. 1. Комплекс аппаратуры беспилотных летательных аппаратов для электромагнитных зондирований «МЭМИ»*

Аэрометоды отличаются высоким темпом обследования, возможностью комплексирования различных геофизических методов. В этой связи были проведены опытно-методические работы по оценке эффективности технологий беспилотных электромагнитных зондирований в Турочакском районе (Республика Алтай), перспективном на золото-кварц-сульфидное оруденение. Подобные объекты благоприятны для экспериментальных исследований, поскольку слагающие их породы в значительной степени различаются по петрофизическим свойствам и характеризуются дифференцированными физическими полями (Глазнев и др., 2017; Долгаль и др., 2008; и др.).

Рассматриваемая технология активно развивается группой Вестфальского университета Германии и основана на методе электромагнитных зондирований в частотной области (Becken et al., 2020; Kotowski et al., 2021).

Опытно-методические работы проводились с использованием электроразведочного комплекса «МЭМИ» (рис. 1). Он состоит из трехканального регистратора, измеряющего компоненты электромагнитного поля в диапазоне  $10-10^4$  Гц, при частоте дискретизации 312 кГц, инклинометра и GPS, собранных в единый модуль. При этом, данная сборка комплекса минимизирует взаимные шумы.

Источником поля служил горизонтальный электрический диполь длиной от 1 до 6 км, расположенный на земле, сила тока составляла порядка 20 А. Использование меандра позволило регистрировать как несущую частоту, так и 5-9 её гармоник, при частоте 100-500 Гц. Выбор частоты зависел от шумов беспилотного комплекса, общего уровня помех и особенностей распространения полей на исследуемой территории, что обеспечивалось предварительным математическим моделированием на этапе планирования работ (Антащук и др., 2021).

Рассмотрим результаты, полученные на перспективном участке, расположенном в республике Алтай, где применялся комплекс электроразведочных и магнитометрических работ (рис. 2). В геологическом отношении территория сложена кембрийскими породами вулканогенного комплекса, прорванными интрузиями основного состава. Рудные проявления связаны с приконтактовыми метаморфическими зонами и разрывными нарушениями.

По результатам совместной интерпретации беспилотных ЭМ-зондирований и ТЗ-ВП было уточнено положение интрузивных тел, характеризующихся контрастными свойствами, линейных проводящих зон, которые приурочены к разрывным нарушениям, выявлены аномалии поляризуемости, являющиеся наиболее перспективными на рудную минерализацию. По магниторазведочным данным было установлено

неоднородное строение тел и выявлены области с низкой интенсивностью магнитного поля, отвечающие корам выветривания основных пород.

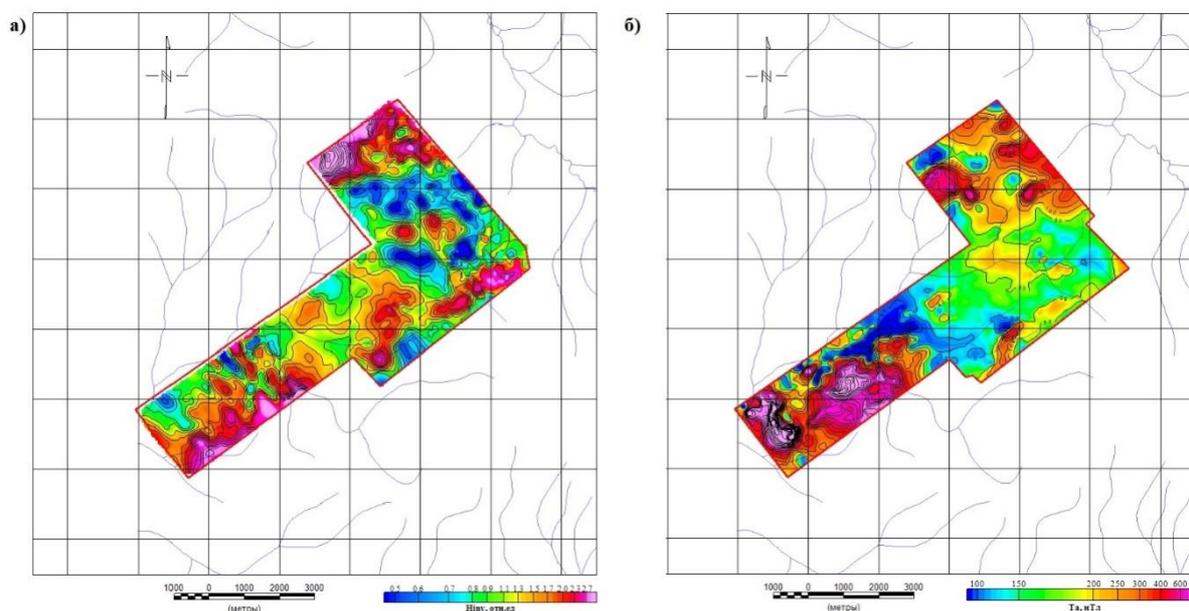
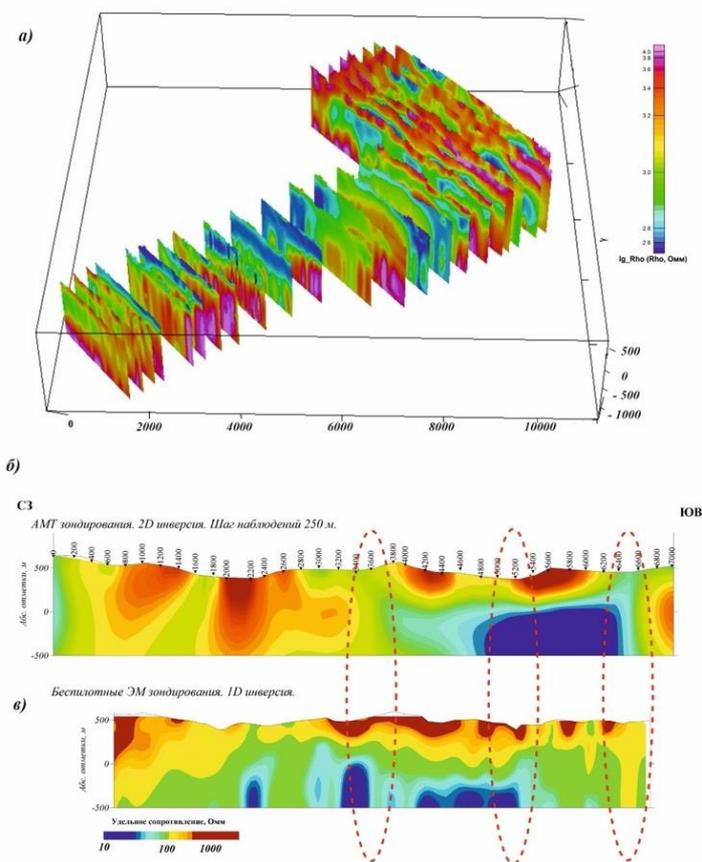


Рис. 2. Карты инвариантного параметра на частоте 900 Гц (а) и аномального магнитного поля (б) по результатам обработки данных беспилотных съемок

По результатам совместной интерпретации беспилотных ЭМ-зондирований и ТЗ-ВП было уточнено положение интрузивных тел, характеризующихся контрастными свойствами, линейных проводящих зон, которые приурочены к разрывным нарушениям, выявлены аномалии поляризуемости, являющиеся наиболее перспективными на рудную минерализацию. По магниторазведочным данным было установлено неоднородное строение тел и выявлены области с низкой интенсивностью магнитного поля, отвечающие корам выветривания основных пород.

При 1D инверсии данных съемок по серии профилей была получена геоэлектрическая модель до глубин 500-800 м и изучено геологическое строение участка, а также корреляция с результатами АМТ исследований, выполненных по опорному профилю (рис. 3).

Верхний плохопроводящий слой отвечает интрузивным массивам, его мощность не превышает 500 м, перекрывает нижний проводящий, с мощностью порядка 400 м. Докембрийский фундамент выделяется фрагментарно, отвечающий высокоомному основанию. По полученным геофизическим данным можно сделать основание об отсутствии корневых частей интрузий, а также о связи линейных проводящих зон северо-восточного простирания с глубинными аномалиями, которые являются, скорее всего, участками измененных пород в зонах разрывных нарушений.



*Рис. 3. Геоэлектрические разрезы по результатам 1D инверсии данных беспилотных ЭМ зондирований для всего участка работ (а). Геоэлектрический разрез по результатам 2D инверсии АМТ зондирований по опорному профилю в восточной части участка (б) и геоэлектрический разрез по результатам беспилотных ЭМ зондирований вдоль этого профиля (в)*

Таким образом, опыт применения беспилотных электромагнитных зондирований доказывает свою высокую эффективность при изучении геоэлектрического разреза на глубины первые сотни метров. Такая технология может быть особо актуальна при работах на участках площадью 100 и более км<sup>2</sup> и может являться альтернативой наземным методам профилирования и зондирования при решении рудных, а также инженерно-экологических задач. Особо актуальным направлением развития технологии является сопоставление данных с результатами МТ-АМТ зондирований для коррекции статических ошибок, а также увеличение полезной компоненты сигнала, уменьшения влияния шумов, решение 3D обратной задачи.

Автор выражает благодарность К.М. Антащуку, А.И. Атакову, А.Б. Кочерову и С.А. Голубеву за предоставленные материалы.

## ЛИТЕРАТУРА

Антащук, К. М. Опыт применения беспилотных ЭМ зондирований при проведении геолого-съёмочных работ / К.М. Антащук, А.И. Атаков, А.Б. Кочеров, А.В. Теремков // Материалы VIII Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна, Москва, 04–07 октября 2021 года. – М.: Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2021. – С. 270-272. – EDN UHCPNX.

Глазнев, В.Н. Детальный прогноз золотого оруденения по комплексу геолого-геофизических данных (Приморье, месторождение Глухое) / В.Н. Глазнев, В.И. Жаворонкин, В.Н. Груздев, И.Ю. Антонова, А.Ю. Доманин // Вопросы естествознания. - 2017. – №1 (13). – С. 44-47.

Долгаль, А.С. Результаты и перспективы геофизических исследований при поисках рудного золота на восточном склоне Кузнецкого Алатау / А.С. Долгаль, Л.А. Христенко // Вестник Краунц. Науки о Земле. - 2008. – № 2. – Вып. № 12. – С. 48-60.

Becken, M. DESMEX: A novel system development for semi-airborne electromagnetic exploration / M. Becken, C. G. Nittinger, M. Smirnova, A. Steuer, T. Martin, H. Petersen, U. Meyer, W. Mörbe, P. Yogeshwar, B. Tezkan, U. Matzander, B. Friedrichs, R. Rochlitz, T. Günther, M. Schiffler, R. Stolz, and the DESMEX Working Group // Geophysics - 2020. - 85(6). 1ND-Z30.

Kotowski, P.O. Suitability study of the semi-airborne electromagnetic method based on multicopter system / P.O. Kotowski, M. Becken, V. Schmidt, J. Schmalzl, A. Thiede, H. Marzouk // SEGNSG Summit on drome geophysics Technical Program Expanded Abstract. - 2021. - P. 35 – 36.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ**

Дорохова Ю.В., студентка 4 курса бакалавриата, ВГУ

Применение магниторазведки с целью поисков месторождений углеводородов позволяет повысить эффективность и производительность геофизических работ, а также сделать их более достоверными. Совершенствование магнитометрической аппаратуры, значительное увеличение точности магнитных съемок, а также накопление данных о магнитных свойствах осадочных толщ, особенно нефтегазовых месторождений, существенно расширили возможности магниторазведки в области поисков нефти и газа.

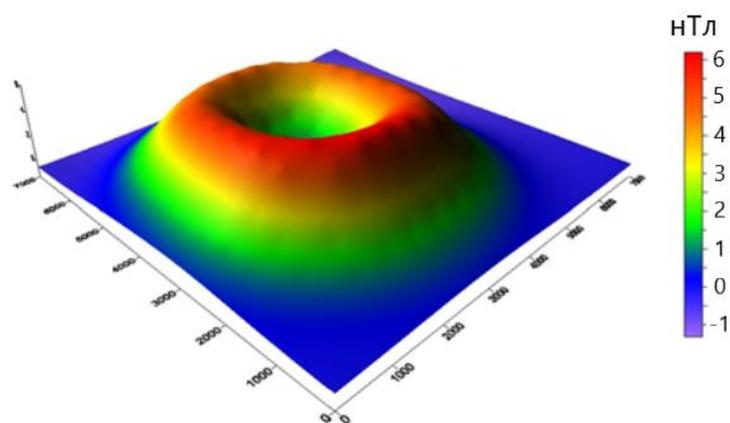
Исследование магнитного поля месторождений нефти и газа имеет свои особенности в виду того, что сама залежь не создает магнитных аномалий, так как нефть относится к диамагнетикам. Большинство осадочных пород, в которых, в основном, накапливаются месторождения углеводородов, также являются немагнитными. Повышенная намагниченность осадочных пород может быть связана с наличием в них акцессорных магнитных минералов таких, как магнетит, гематит, продукты окисления и замещения сидерита и пирита.

Причиной появления аномалий магнитного поля над месторождениями нефти и газа являются процессы вторичного преобразования пород под действием мигрирующих углеводородов, в результате чего образуются железистые минералы с различной степенью намагничения (Карус и др., 1986). Миграция углеводородов существенно влияет на состав вмещающих пород, что приводит к изменению их магнитной восприимчивости. Изменения состава и структуры в зоне эпигенеза проходят над залежью в течение длительного геологического времени и зависят от вещественного состава вмещающих пород и размера залежей (Еремин, 1987). Аномальные значения магнитной восприимчивости пространственно совпадают с зонами вторичного минералообразования ферромагнитных материалов и аномально высоких концентраций некоторых химических элементов. В результате образуется магнитная аномалия, которую можно зафиксировать (Безукладнов и др., 1987; Мавричев и др., 2001).

Нефтеперспективные структуры проявляются в магнитном поле в виде слабоинтенсивных аномалий амплитудой в несколько нТл на фоне региональной составляющей (Гадиров, 2021). Применение высокоточных приборов при проведении магнитной съемки позволяет выявить

низкоамплитудные аномалии, которые пространственно приурочены к месторождениям нефти и газа.

С целью оценки эффективности применения магниторазведки при поисках месторождений нефти и газа было проведено численное моделирование аномального магнитного поля. Прямая задача рассчитывалась для трехмерных моделей залежей, которые были представлены набором параллелепипедов. Решение прямой задачи выполнялось с использованием классического алгоритма (Воронова и др., 2012; Глазнев и др., 2012а; Глазнев и др., 2012б). Размеры дискретного элемента среды составляли 500 x 500 x 500 м. Количество элементов в модели среды по оси X и Y – 15, по Z – 4. Используя различные значения намагниченности, характерные для пород зоны эпигенеза, углов наклона вектора намагничения, а также размеров элементов дискретной модели среды, можно моделировать различные геологические условия. Один из результатов моделирования представлен на рисунке.



*Рисунок. Аномальное магнитное поле модели нефтегазовой залежи*

Результаты моделирования показали, что аномальное магнитное поле моделей нефтегазовых залежей имеет сложный характер и незначительную интенсивность. Применение высокоточной магнитной съемки позволит зафиксировать аномалии подобного рода.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю доц. Т.А. Вороновой за предоставленные программы решения прямой задачи и полезное обсуждение результатов моделирования.

## **ЛИТЕРАТУРА**

Безукладнов, В.А. Выявление аномалий типа "залежь" по магнитному полю / В.А. Безукладнов, В.Г. Мавричев // Геология нефти и газа. – 1997. – № 7. – С. 21–24.

Воронова, Т.А. Решение прямых задач магниторазведки для произвольно намагниченных тел правильной формы. Практикум для ВУЗов / Т.А. Воронова, В.Н. Глазнев // Воронеж: изд. ВГУ. - 2012. - 38 с.

Гадиров, В.Г. Особенности локальных гравимагнитных аномалий над месторождениями нефти в условиях Среднекуринской впадины / В.Г. Гадиров, К.В. Гадиров // Вестник Бакинского университета. – 2021. – № 1. – С. 62-77.

Глазнев, В.Н., Лошаков Г.Г. Решения прямой двумерной задачи магнитометрии с использованием адаптивной аппроксимации тела / В.Н. Глазнев, Г.Г. Лошаков // Материалы 39-ой сессии международного семинара им. Д.Г.Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей». – Воронеж: ВГУ. - 2012а. - С. 80-83.

Глазнев, В.Н. Об одном методе моделирования рудных объектов с использованием адаптивной аппроксимации / В.Н. Глазнев, Г.Г. Лошаков // Вестник ВГУ, серия Геология. - 2012б. - №1. - С. 243-246.

Еремин, В.Н. Магнитная зональность осадочных пород и пространственное распределение минералов железа в зонах влияния углеводородов / В.Н. Еремин // Геология нефти и газа. – 1986. – №4. – С. 28-32.

Мавричев, В.Г. Крупномасштабная аэромагнитная съемка осадочных бассейнов / В.Г. Мавричев, А.А. Петрова // Разведка и охрана недр. – 2001. – № 9. – С. 14-18.

Физико-химические основы прямых поисков залежей нефти и газа / Под. ред. Е.В. Каруса. – М. : Недра, 1986. – 336 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ РУД НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КАМЕННОЕ (ЧУКОТСКИЙ АО)**

Завгородний Е.В., студент 4 курса бакалавриата, ВГУ

Чукотский автономный округ рассматривается как перспективный район для поисков месторождений полезных ископаемых, связанных с медно-порфировым оруденением (Бескин и др., 2016; Кривцов и др., 2001). Подобный тип месторождений, как и многие рудные месторождения генетически и пространственно связанные с гидротермально-метасоматическими процессами, является благоприятным объектом для геофизических исследований (Бродовой и др., 1990; Вахромеев и др., 1989; Глазнев и др., 2011).

Исследуемая площадь характеризуется комплексом благоприятных признаков для обнаружения промышленного медно-порфирового оруденения. К ним относятся: наличие рудоносных порфировых интрузий, представленных кварцевыми диорит-порфиритами и гранодиорит-порфирами; наличие системы разрывных нарушений; наличие зон вкрапленной и прожилковой меднорудной минерализации с промышленными или близкими к ним содержаниями меди.

Месторождение представлено штокверком с прожилково-вкрапленным меднопорфировым оруденением, совмещенным со штоком кварцевых диорит-порфиров - гранодиорит-порфиров третьей фазы кавральянского комплекса. Рудоносный шток сопровождается зонально построенным ореолом гидротермально-метасоматических изменений и сопряженно расположенными геохимическими аномалиями меди, молибдена, золота, свинца, цинка и серебра.

Рудоносный медно-порфировый штокверк вскрыт скважинами и горными выработками. В полостях горных выработок и керне скважин зафиксирована прожилково-вкрапленная медная минерализация, представленная халькопиритом, борнитом, халькозином, ковеллином, купритом и самородной медью. Широко развиты гипергенные минералы меди: малахит и азурит в виде пленок, налетов и корочек по трещинам. Оруденение сопровождается зонами пиритизации, магнетитизации.

При проведении геофизических исследований на Каменном месторождении были выполнены электроразведочные работы методом ТЗ-ВП и магнитометрия.

Электроразведочные профили задавались в крест региональных геологических структур. В пределах участка расположены семь профилей

длиной 2500 м каждый. Расстояние между профилями 250 м. Электротомографические измерения выполнялись трехэлектродной установкой (AMN( $B \rightarrow \infty$ )). Удаленный электрод В устанавливался на расстоянии 5 км от ближайшего профиля. Шаг перемещения подвижного токового электрода по профилю составлял 250 м. Длина приемной линии MN составляла 40 м, шаг ее перемещения по профилю - 20 м. Эффективная глубинность исследования для центральной части профилей составляет порядка 400-500 м.

Среднее фоновое значение удельного электрического сопротивления (УЭС) в пределах участка по данным ТЗ-ВП около 2000 Ом м. Подобный уровень поля сопротивлений является достаточно низким, если учесть, что участок сложен преимущественно интрузивными и вулканогенными образованиями. Низкие фоновые значения УЭС могут указывать на то, что значительный объем пород затронут интенсивными гидротермально-метасоматическими и гипергенными преобразованиями. На карте сопротивлений фиксируется несколько линейных аномалий пониженных значений параметра (рис. 1), которые отвечают зонам тектонических нарушений и повышенной трещиноватости. Природа линейных зон повышенного сопротивления не ясна, скорее всего, эти аномалии обусловлены рельефом местности.

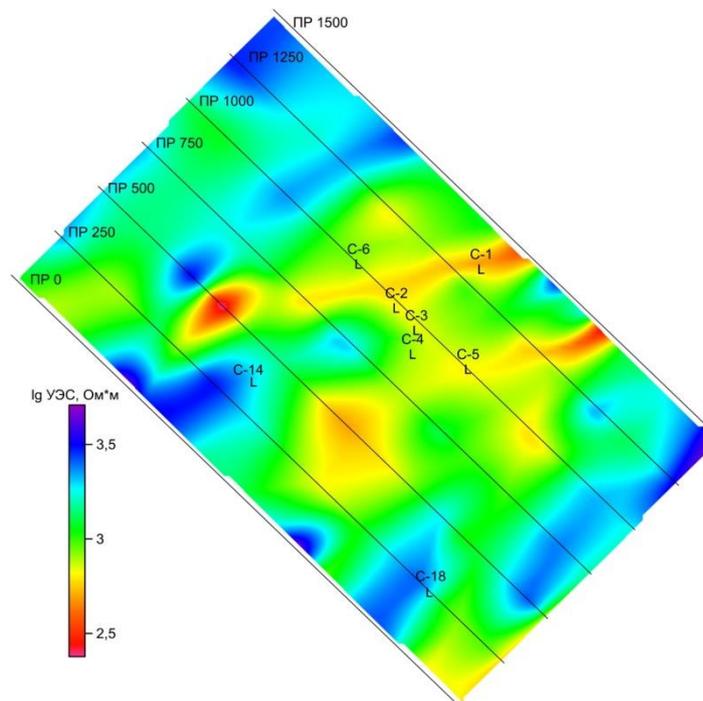


Рис.1. Карта удельного электрического сопротивления участка Каменное

Весь участок характеризуется высокими средними значениями поляризуемости, около 2.5 % (рис. 2), что указывает на повышенное содержание рудных минералов в породах. Линейные и изометричные

локальные аномалии в центральной части исследуемой площади отвечают зонам развития пирит-халькопиритовой и магнетитовой минерализации. Обширная область повышенных значений поляризуемости на юго-восточной части участка обусловлена пиритовым ореолом на периферии меднопорфировой рудной системы, что показали результаты комплексной интерпретации геофизических данных (см. рис. 4).

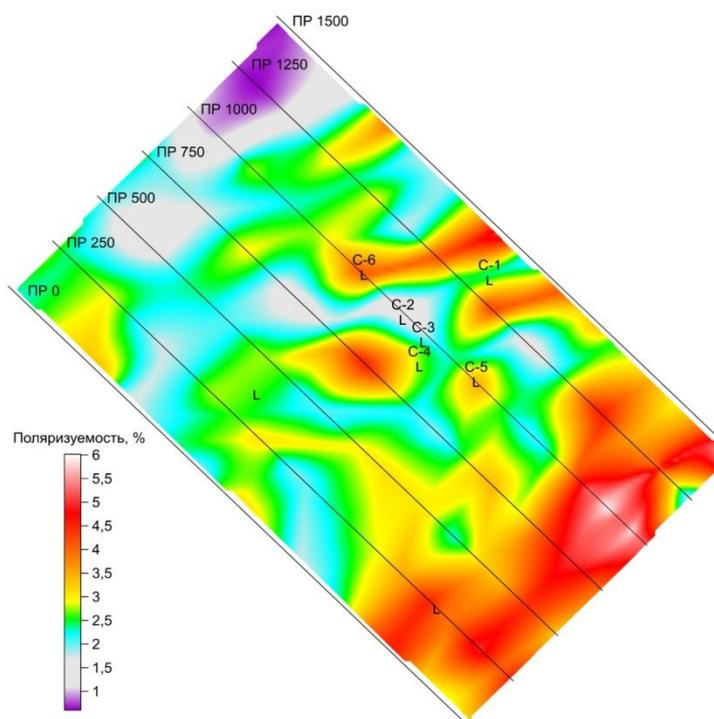


Рис. 2. Карта поляризуемости участка Каменное

Магнитометрические работы проведены в масштабе 1:10 000. При этом, расстояние между профилями составило 100 м, между пикетами 20 м, что обусловлено рекомендациями по работе в условиях высокого градиента поля (Инструкция ..., 1982). В силу ряда обстоятельств, профили магнитной съемки по направлению не совпадали с электроразведочными профилями.

Магнитное поле в пределах исследуемого участка характеризуется высокой степенью дисперсии (рис. 3). Представляющие поисковый интерес метасоматически измененные участки отображаются отрицательными аномалиями порядка 1000 нТл. Зоны магнетитизации проявляются в виде положительных локальных аномалий магнитного поля амплитудой более 3500 нТл. Высокий градиент магнитного поля указывает на неглубокое залегание аномалиеобразующих объектов.

Результаты комплексной интерпретации геофизических данных вдоль ПР 1000 заверенного 4 скважинами представлены на рис. 4. На этом профиле выделяется 6 аномалий ВП которые на рисунке пронумерованы римскими цифрами.

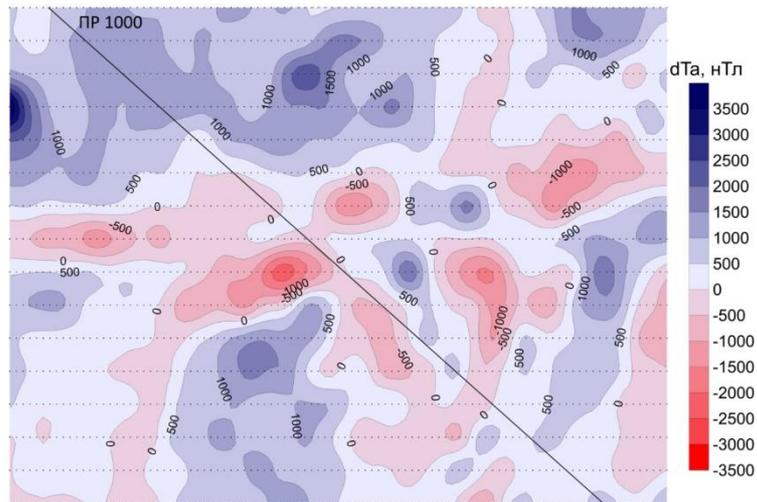


Рис.3. Карта аномального магнитного поля участка Каменное

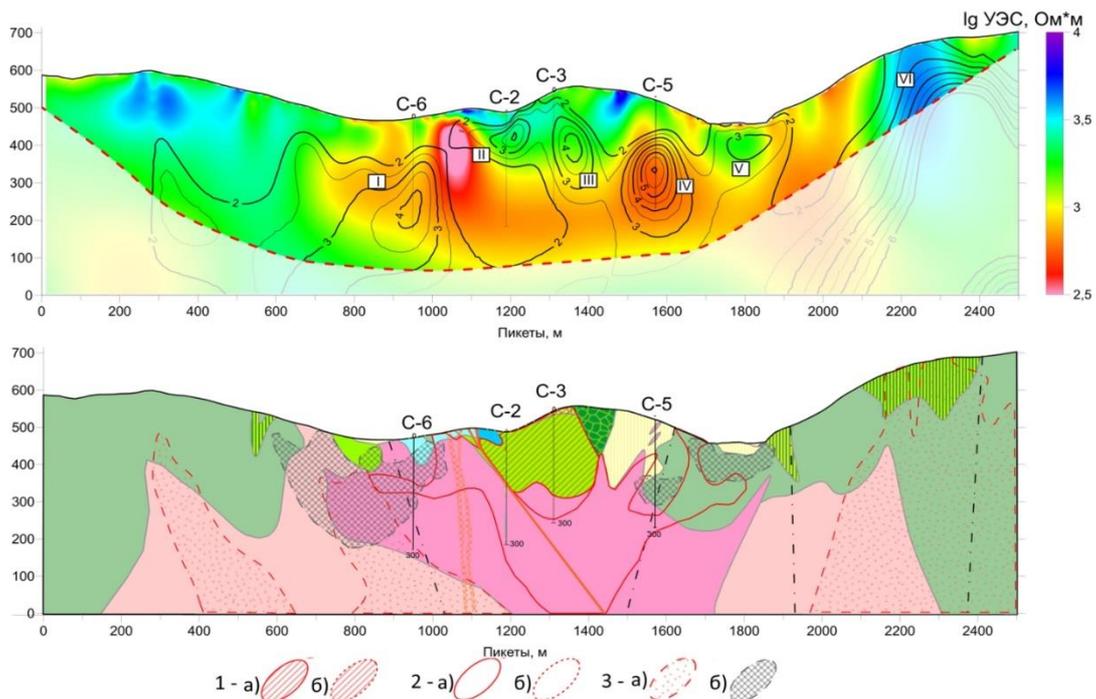


Рис. 4. Разрез УЭС с изолиниями поляризуемости и интерпретационный разрез по профилю 1000: 1 - контуры рудных тел с бортовым содержанием меди 0,3% а) - установленные, б) - предполагаемые по геофизическим данным; 2 - контуры халькопиритовой минерализации с содержаниями 0,1-0,3% меди а) - установленные, (б) - предполагаемые по геофизическим данным; 3 - предполагаемые контуры преимущественно а) пиритовой (до 5 %) минерализации и б) магнетитовой (до 5 %) минерализации

Аномалия I связана со слабой пиритовой, халькопиритовой и магнетитовой минерализацией гранодиоритов. Аномалии под номерами II и III вызваны промышленной халькопиритовой минерализацией диорит-

порфиоров. Следует отметить, что этим аномалиям в рамках разреза отвечают умеренные значения поляризуемости. Это обусловлено тем, что при равном объемном содержании пиритовая и халькопиритовая минерализации характеризуются разными значениями поляризуемости. Аномалия IV связана со скарнированными андезитами, которые несут магнетитовую и пирит-халькопиритовую минерализацию. На поверхности над аномалией V наблюдается выход рудного тела на поверхность с содержанием меди от 0,1% до 0,3%, источником аномалии ВП является халькопиритовая минерализация. Аномалия номер VI обусловлена выходящим на поверхность пиритовым ореолом на периферии меднопорфировой рудной системы.

Анализ показывает, что использованный комплекс геофизических методов позволяет в полной мере решить необходимые геологические задачи, а именно: выявление и оконтуривание рудных зон; картирование областей, затронутых метасоматическими преобразованиями; выделение тектонических нарушений.

Автор выражает благодарность своему руководителю доц. В.И. Жаворонкину за постановку задачи и полезное обсуждение материалов исследования.

## **ЛИТЕРАТУРА**

Бескин, С.М. Медно-порфировое оруденение России: перспективные регионы и площади / С.М. Бескин, А.К. Алексеева. - М.: Научный мир, 2016. - 78 с.

Бродовой, В.В. Геофизические методы разведки рудных месторождений / В.В. Бродовой, В.Д. Борцов, Л.Е. Подгорная [и др]. — М.: Недра, 1990.— 296 с.

Вахромеев, В.И. Комплексование геофизических методов и физико-геологические модели / В.И. Вахромеев, А.Ю. Давыденко. - Иркутск: ИПИ, 1989. - 88 с.

Глазнев, В.Н. Комплексные геолого-геофизические исследования при поисковых работах в условиях Северного Урала / В.Н. Глазнев, В.И. Жаворонкин, Р.А. Терентьев, П.В. Кораблинов, И.В. Притыка // Руды и металлы. -2011, №3-4. –С. 37-38.

Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съёмка, аэромагнитная съёмка, гидромагнитная съёмка) / Ред. Ю.С. Глебовский. - Л.: Недра, 1982. - 263 с.

Кривцов, А.И. Меднопорфировые месторождения. Сер.: Модели месторождений благородных и цветных металлов / А.И. Кривцов [и др.] — М.: ЦНИГРИ, 2001. - 232 с.

УДК: 552.08.

## **ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД ПАВЛОВСКОЙ АССОЦИАЦИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА**

Ильин В.В., студент 1 курса магистратуры, ВГУ

Несмотря на длительную историю исследования докембрийских гранитоидных комплексов, в том числе и павловского, на территории Воронежского кристаллического массива (ВКМ), данные образования представляют значительный интерес в качестве объекта петрофизических исследований. Это обусловлено тем, что последние фактические данные об их физических свойствах были получены в начале 90-х годов прошлого века, после чего бурением они вскрывались лишь эпизодически. Все последующие аналитические работы основывались только на этой ретроспективной информации (Афанасьев, 2012; Глазнев и др., 2019; Петроплотностная..., 2020). Современные подходы к геолого-геофизическому моделированию (Глазнев и др., 2019; Муравина и др., 2019), возросшие аппаратно-методические возможности лабораторных исследований физических свойств, а также наличие нового каменного материала требуют с одной стороны актуализировать старые данные, а с другой - получить новые сведения.

Павловский мигматит-гранит-граносиенитовый комплекс наиболее широко распространен в юго-восточной части (ВКМ). Основной ареал его развития ограничен Лосевской шовной зоной за пределами которой встречается лишь эпизодически. Гранитоиды комплекса секут и мигматизируют породы донского типа обоянского комплекса. Возраст гранитоидов, по данным изотопного датирования акцессорных цирконов уран-свинцовым методом, составляет  $2078 \pm 4$  млн лет. Наиболее обширная зона развития гранитоидов – Павловско-Воронежское гранитоидное поле (рис. 1). В пределах этого поля выделяется ряд крупных мигматит-гранитных куполов и более мелких интрузивных тел (Минерагенические..., 2007).

Образования комплекса представлены породами двух фаз внедрения. Первая фаза – средне-крупнозернистые существенно микроклиновые гранитоиды (граниты, граносиениты, гнейсограниты, гнейсограносиениты). Ко второй фазе отнесены лейкократовые среднезернистые и аплитовидные граниты, пегматиты, секущие граниты первой фазы и супракрустальные породы в виде малых тел и жил (Ненахов и др., 2011). Так же с породами обеих фаз ассоциируют амфиболиты (в разной степени

гранитизированные и неизмененные) и метапесчаники (Никитин и др., 2017).

С целью изучения петрофизических характеристик гранитоидов павловского комплекса и ассоциирующих с ними пород было отобрано 132 максимально свежих образца из Павловского гранитного карьера (рис. 1). Определение петрофизических характеристик собранной коллекции производилось в петрофизической лаборатории кафедры геофизики Воронежского госуниверситета по принятой методике (Жаворонкин и др., 2020). Полученные данные прошли стандартную статистическую обработку с построением вариационных кривых распределения параметров и диаграмм рассеяния.

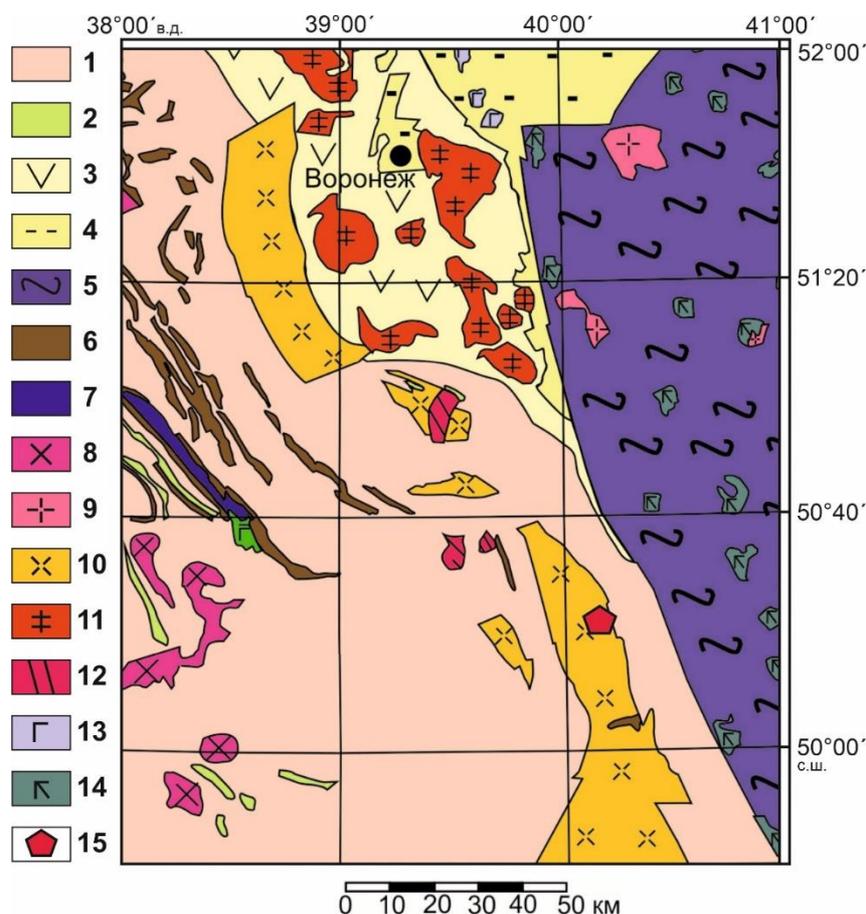


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Павловско-Воронежского гранитоидного поля (фрагмент карты из (Геохронология..., 2019)): 1 – обоянский комплекс; 2 – михайловская серия; 3 – лосевская серия; 4 – воронежская свита; 5 – воронцовская серия; 6 – курская серия; 7 – тимская свита; 8 – атаманский комплекс; 10 – павловский комплекс; 11 – усманский комплекс; 12 – лискинский комплекс; 13 – ольховский комплекс; 14 – мамонский комплекс; 15 – местоположение Павловского карьера.

На рис. 2-4 приведены вариационные кривые изученных петрофизических параметров. Характер распределения плотности и магнитной восприимчивости указывает на сложное полихронное и

полигенное образование пород исследуемой выборки, допускающее при этом достаточно достоверное выделение нескольких петрофизических групп.

Полимодальное распределение плотности пород комплекса и ассоциирующих с ними образований можно разделить на две больших группы. Первая группа пород, характеризующаяся плотностью 2,61-2,70 г/см<sup>3</sup>, главным образом включает в себя гранитоиды двух фаз генерации и макроскопически неотличимые от них метапесчаники. Полученное распределение для гранитоидов соотносится с результатами работ предшественников по изучению гранитных комплексов ВКМ (Афанасьев, 2012; Гросс, 2022; Петроплотностная..., 2020).

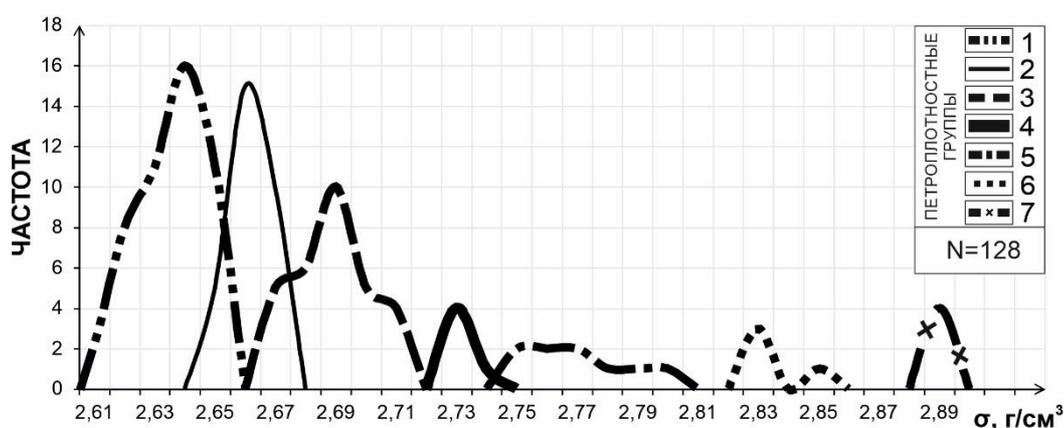


Рис. 2. Вариационные кривые распределения плотности. Петроплотностные группы: 1-3 – гранитоиды; 4-5 – гранитизированные амфиболиты; 6-7 – амфиболиты

Однако, при более детальном рассмотрении, дополнительно выделяются три петроплотностных подтипа гранитоидов: первая группа, со средним значением 2,63 г/см<sup>3</sup>, включает в себя гранитоиды поздних стадий генерации (лейкократовые граниты, гранит-аплиты) и метапесчаники. Гранитоиды ранних стадий генерации (порфиридные амфиболитовые граниты и граносиениты) приурочены ко второй и третьей петроплотностным группам, для которых характерны средние значения 2,66 и 2,68 г/см<sup>3</sup> соответственно. Особенности распределения плотности для гранитоидной группы свидетельствует о многоэтапной эволюции вещества с близким составом в различных термодинамических условиях

Вторая группа пород, представленная в разной степени гранитизированными амфиболитами, в свою очередь подразделяется на две подгруппы. На вариационной кривой первая подгруппа включает в себя третий и четвертый петрофизические типы. Размах дисперсии последнего обусловлен интенсивностью процессов гранитизации, выражающихся в изменении содержания темноцветных минералов. Вторая подгруппа представлена двумя подтипами амфиболитов: первый подтип со средним значением 2,83 г/см<sup>3</sup> и второй подтип, среднее значение плотности которого

составляет  $2,89 \text{ г/см}^3$ . Причина неоднородности распределения плотности среди амфиболитов, по всей видимости, кроется в различном процентном содержании плагиоклаза.

Магнитная восприимчивость пород изучаемого комплекса так же отображает длительную историю формирования и последующего метаморфизма докембрийских образований, что выражается в полимодальном распределении указанного параметра (рис. 3).

Магнитная восприимчивость не столь тесно увязана с вещественным составом, как плотность. Это делает необходимым привлечение минералогических и геохимических исследований для расшифровки структурно-вещественных особенностей, определяющих наблюдаемое распределение параметра. Однако, некоторые закономерности могут быть намечены

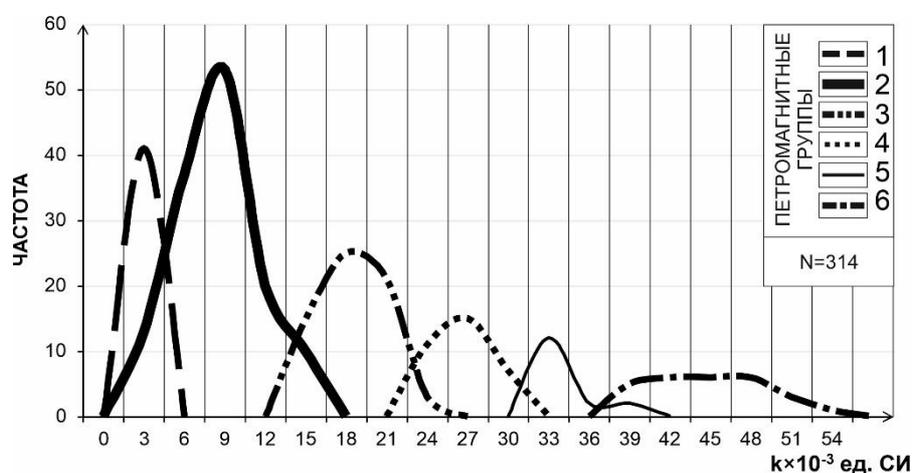


Рис. 3. Вариационные кривые распределения магнитной восприимчивости. Петромагнитные группы: 1 – гранитоиды второй фазы генерации, амфиболиты, метапесчаники; 2-6 – гранитоиды первой фазы генерации, интенсивно гранитизированные амфиболиты

Наиболее неоднозначным в вещественном выражении является первый петромагнитный тип в диапазоне  $(0,1-1,5) \times 10^{-3}$  ед. СИ, включающий в себя гранитоиды поздних фаз генерации, метапесчаники и амфиболиты (гранитизированные и неизмененные). Все прочие группы в интервале от  $1,5 \times 10^{-3}$  до  $51 \times 10^{-3}$  ед. СИ представлены порфиоровидными амфибол-биотитовыми и биотитовыми гранитоидами, а также интенсивно гранитизированными амфиболитами. Стоит так же отметить присутствие в выделенном интервале граносиенитов с аномально высокими значениями магнитной восприимчивости. Столь широкий диапазон значений магнитной восприимчивости может быть обусловлен различными условиями кристаллизации ферромагнитных минералов, входящих в состав описываемых пород.

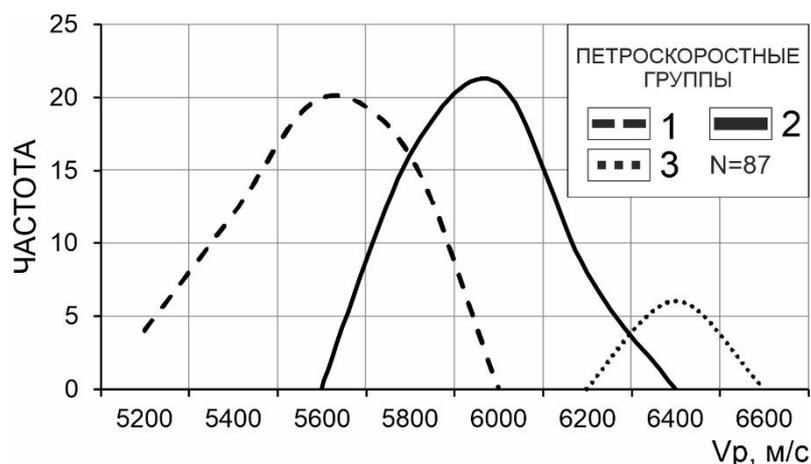


Рис. 4. Вариационные кривые распределения скорости прохождения продольных волн

По скорости прохождения продольных волн (рис. 4) рассматриваемая выборка пород подразделяется на три условные подгруппы, которые на данном этапе исследований не удалось связать с определенными петрологическими особенностями рассматриваемой ассоциации пород.

С позиций рассмотрения взаимосвязи физических свойств, наибольший интерес представляет поле рассеяния плотность-магнитная восприимчивость (рис. 5).

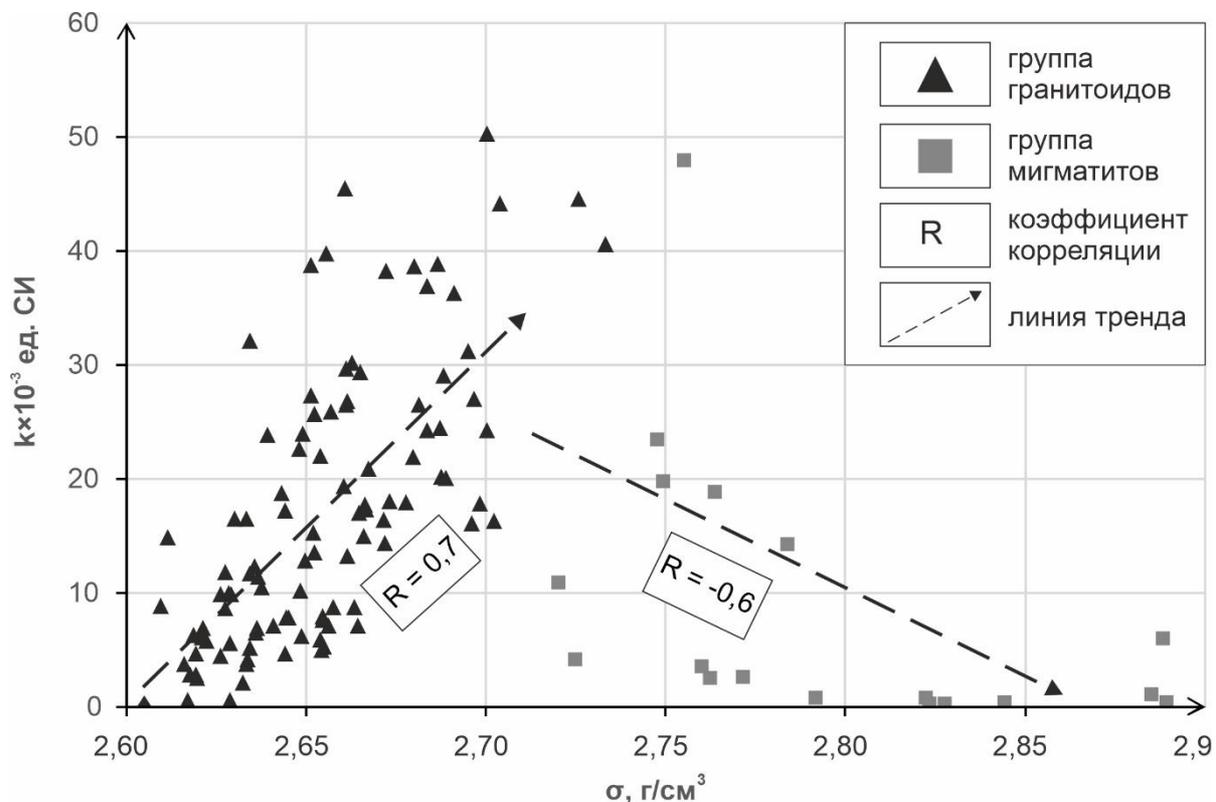


Рис. 5. Поле корреляции плотность-магнитная восприимчивость для группы гранитоидов и группы мигматитов

На бинарной диаграмме достаточно четко выделяются два тренда поведения данных: 1) гранитоидная группа, характеризующаяся положительным коэффициентом корреляции, что обусловлено увеличением содержания фемических минералов, которые приводят как к росту плотности, так и магнитной восприимчивости; 2) группа мигматитов с обратным поведением, причиной которого служит разная степень гранитизации исходного вещества.

Дифференциация рассматриваемой совокупности пород по физическим свойствам является положительным фактором для их выделения в магнитном и гравитационном полях, анализ которых, в свою очередь, позволит уточнить строение павловского мигматит-гранит-граносиенитового комплекса и поможет восстановить его эволюцию.

Автор благодарит научного руководителя к.г.-м.н. В.И. Жаворонкина за постановку задачи и помощь в её решении, д.г.-м.н. В.М. Ненахова за содержательные консультации, а также Кирилла Гросса за предоставленный каменный материал.

## ЛИТЕРАТУРА

Афанасьев, Н.С. Петрофизика земной коры ВКМ / Н. С. Афанасьев // Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным. – Воронеж: Научная книга, 2012. – С. 21-88.

Глазнев, В.Н. Строение верхней коры Елецкого участка Лосевского террейна (Воронежский кристаллический массив) по данным плотностного моделирования / В.Н. Глазнев, В.И. Жаворонкин, О.М. Муравина и др. // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. -2019.- № 4. - С. 74-83.

Гросс, К.А. Петрофизические характеристики павловского гранитоидного комплекса (Воронежский кристаллический массив) / К.А. Гросс // Геофизические и петрофизические исследования: методика и интерпретация данных. Матер. молодежной научн. конф. Воронежского государственного университета. - Воронеж: ИПЦ Научная книга, 2022. - С. 32 - 36.

Жаворонкин, В.И. Петрофизический облик гранитоидов Даховского кристаллического массива (Северо-Западный Кавказ) / В.И. Жаворонкин, В.В. Ильин. XXI Междунар. конф. «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». Материалы конференции. - М.: ИГЕМ РАН, 2020. - С. 83-86.

Минерагенические исследования территорий с двухъярусным строением (на примере Воронежского кристаллического массива) / В.М. Ненахов [и др.] // М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2007. - 284 с.

Муравина, О.М. Идентификационный анализ ультрамафит-мафитовых интрузий мамонского комплекса Воронежского

кристаллического массива / О.М. Муравина, М.Н. Чернышова, В.И. Жаворонкин // Вестник Камчатской региональной организации. Серия: Науки о Земле. - 2019. - № 3 (43). - С. 88-98.

Ненахов, В.М. Тектоническая эволюция Лосевской шовной зоны Воронежского кристаллического массива в палеопротерозое / В.М. Ненахов, С.В. Бондаренко // Геотектоника. – 2011. - №4. – С. 43-59.

Никитин, А.В. О происхождении гранитоидов павловского комплекса и их структурных преобразованиях на стадии консолидации коры / А.В. Никитин, В.М. Ненахов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. - 2017. - №3. - С. 46-60.

Петроплотностная карта докембрийского фундамента Воронежского кристаллического массива / В.Н. Глазнев О.М. Муравина, В.И. Жаворонкин, И.П. Лебедев, Т.А. Воронова // - Воронеж: ИПЦ Научная книга, 2020. - 101 с.

Савко, К.А. Геохронология ТТГ ассоциации в мезоархее Курского блока Восточной Сарматии / К.А. Савко [и др] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. - 2019. - № 2. - С. 70-80.

## **МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И РУД РУДОПРОЯВЛЕНИЯ СУЛЬФИДНОГО НИКЕЛЯ АРХАР (КАМЧАТКА)**

Клочков А. Ю., студент 4 курса бакалавриата, ВГУ  
Колупаев И. В., студент 2 курса магистратуры, ВГУ

Магнитные свойства горных пород и руд являются важной характеристикой для их идентификации при поисковых работах и геологическом картировании. Интересным объектом для исследования магнитных свойств является рудопроявления сульфидного никеля месторождения Архар.

Район исследований относится к юго-западной части п-ова Камчатка и приурочен к южной части Срединного хребта, который является наиболее крупным выходом метаморфических пород в регионе (рис. 1).

Современные представления о формировании Срединного хребта следующие (Рихтер, 1995; Сидоров и др., 2016; Яроцкий и др., 2007). Положение относительного автохтона занимает колпаковский метаморфический комплекс, сложенный плагиогнейсами, кристаллическими сланцами, мигматитами, линзами ортоамфиболитов и силикатных мраморов. К этой же литопластине относятся гнейсо-граниты, прорывающие колпаковский комплекс. Породы метаморфизованы в основном в амфиболитовой фации, редко наблюдаются парагенезисы гранулитовой фации. На породах колпаковского комплекса и прорывающих их гнейсо-гранитах залегают образования камчатского метаморфического комплекса, сложенного биотитовыми, ставролит-гранат-биотитовыми, андалузит-гранат-биотитовыми кристаллическими сланцами, микрогнейсами. Породы прорваны плагиогранитами. С запада Срединно-Камчатский массив отделен крутыми разломами от верхнемеловых терригенных пород Западно-Камчатской структурно-формационной зоны, а с востока на него надвинуты меловые вулканогенные породы Центрально-Камчатской зоны.

Нижний этаж сложен интенсивно смятыми и глубоко метаморфизованными породами колпаковской и камчатской серий, образующих ядро массива, и составляющих общий автохтонно-параавтохтонный комплекс. Верхний этаж сложен сравнительно полого залегающими и слабее метаморфизованными терригенными и вулканогенными свитами малкинской серии, формирующими чехол массива.

Наиболее древние метаморфические образования колпаковской и камчатской серий протерозойского возраста, представленные мигматизированными гнейсами, биотит-гранатовыми и двуслюдяно полевошпат-кварцевыми сланцами, приурочены к центральной части массива.

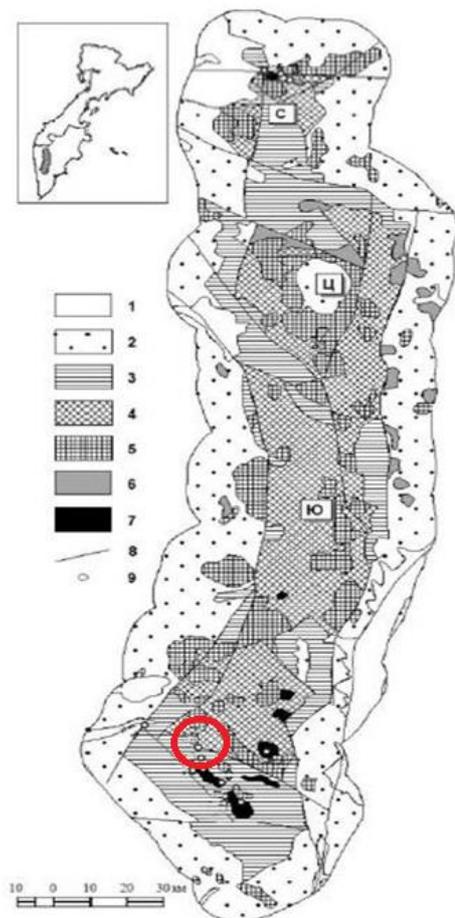


Рис. 4. Схема геологического строения Камчатского срединного массива (красным обведен район исследований): 1 - рыхлые отложения; 2 - четвер-верхний мел. Структуры обрамления: терригенные и вулканогенные отложения: 3 – палеозой-мезозой. Верхний структурный ярус. Зеленосланцевые терригенные и вулканогенные толщи; 4 - протерозой. Нижний структурный ярус. Метаморфические серии сланцев и гнейсов. 5-7 плутонические комплексы: гранитов, гнейсо-плагиогранитов, гранодиоритов (5), базит-ультрабазитов – андриановский метагаббровый, левоандриановский дунит-клинопироксенит-монцитонитовый (6), дукукский габбро-норитовый; 8 – разломы; 9 - месторождения и проявления медно-никелевых руд

Метатерригенные и сланцевые толщи хейванской, андриановской и химкинской свит палеозойского возраста, характеризующиеся общим снижением интенсивности метаморфизма пород вверх по разрезу от амфиболитовой до зеленосланцевой фаций, приурочены к северной и южной окраинам Камчатского срединного массива (КСМ).

Стратифицированные образования прорваны многочисленными интрузиями гранитоидов палеозойского и мелового возраста, развитыми преимущественно в центральной, осевой части КСМ. На периферии массива наряду с ними расположены многочисленные интрузии, силлы и дайки роговообманковых базитов и гипербазитов дукукского никеленосного комплекса эоценового возраста. Наиболее молодые образования - риолиты

и риодациты голоцена слагают район Хангарского вулканического сооружения.

Сульфидно-никелевое рудопроявление Архар относится к значительной по площади рудной зоне, в пределах которой выявлено более 30 проявлений сульфидной никелевой минерализации (рис.1). Рудное поле, на котором находится изученный участок, относится к южной части КСМ, имеет площадь около 220 км<sup>2</sup>, и образовано массивом пород основного состава, предположительно имеющего форму лополита. По прогнозным оценкам эта группа сульфидных медно-никелевых рудопроявлений является одним из крупнейших объектов Камчатки на сульфидное платиноидно-медно-никелевое оруденение.

Основные рудные минералы — пентлантит, халькопирит, пирит и пирротин. Сплошные руды состоят на 30–70 % из сульфидов, брекчиевидные — на 20–50 %. В прожилково-вкрапленных рудах доля сульфидов составляет 7–10 %, изредка — 15 %. Руда существенно никелевая, медь играет подчиненную роль. Содержание никеля в массивных рудах обычно составляет от 4–5 до 7–9 % (изредка превышает 10 %), в прожилково-вкрапленных — от 1,5 до 5 %, во вкрапленных — не превышает 2 %. Наряду с никелем, промышленное значение имеют медь (от 0,3 до 1,5 %) и кобальт.

При анализе магнитных свойств использовались данные полевой каппаметрии по образцам керна скважин, а также результаты лабораторных определений магнитной восприимчивости по образцам, отобраным из обнажений, во время полевых работ. Лабораторные исследования проводились в петрофизической лаборатории Воронежского государственного университета по общепринятой методике (Жаворонкин и др., 2017; Физические..., 1984)

Измерения магнитной восприимчивости выполнялись полевым каппаметром КМ-7 (SatisGeo, Чехия). Прибор имеет чувствительность  $1 \times 10^{-6}$  ед. СИ, диапазон измерений от -999,9 до  $999,9 \times 10^{-3}$  ед. СИ. Результаты измерений сведены в таблицу и представлены в виде гистограмм.

Анализ результатов показывает, что руды, по крайней мере, массивные, характеризуются повышенными средними значениями магнитной восприимчивости. Максимально высоким значением параметра обладают отдельные образцы габбро, что связано, по всей видимости, с их интенсивной пирротинизацией. Однако, подобные образцы единичны, о чем свидетельствует рис. 2б, и их характеристика не сказалась на средних значениях.

Все распределения магнитной восприимчивости вмещающих пород, отображенные на рисунке, носят бимодальный характер. Первый пик, по всей видимости, характеризует неизменные разности пород, широко

распространенные в пределах участка. Второй максимум представляет породы в разной степени затронутые сульфидизацией.

Таблица

Магнитная восприимчивость горных пород и руд рудопроявления Архар

Породы	Количество образцов	Магнитная восприимчивость, $\kappa \times 10^{-3}$ ед. СИ		
		min	max	среднее
Сланец	2510	-0,817	49,32	0,946
Габбро	1100	0,068	128,36	10,33
Андезит	284	0,043	35,22	17,73
Дациит	175	-0,817	2,619	0,241
Диорит	103	0,013	10,19	1,356
Массивные руды (>75%)	12	10,13	68,73	24,55

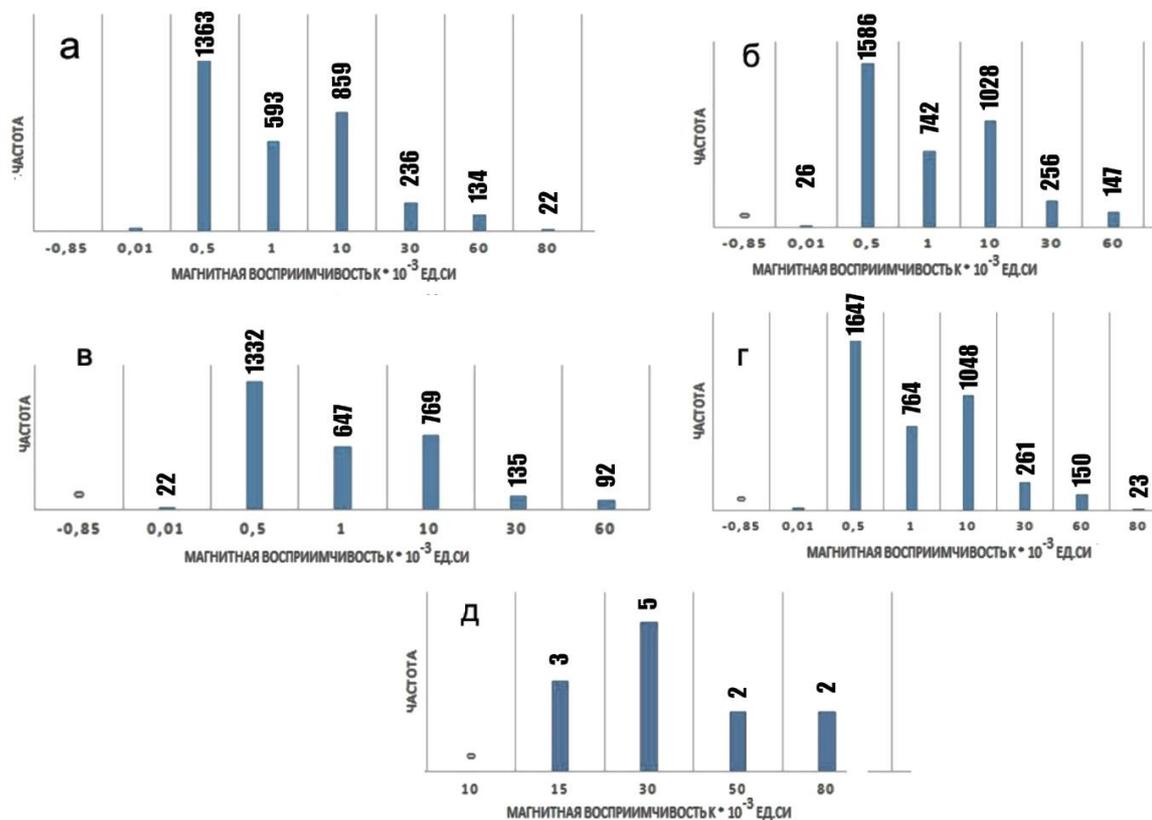


Рис. 2. Гистограммы распределения магнитной восприимчивости: а - сланцы; б - габбро; в - дациты; г - андезиты; д - сульфидные руды

Руды сульфидного никеля обладают повышенной магнитной восприимчивостью, что связано с наличием в них пирротина.

В результате исследований изучена магнитная восприимчивость горных пород и руд сульфидно-никелевого рудопроявления Архар, что дает

основу для использования данных магнитометрии для поисковых работ и геологического картирования.

Авторы благодарят своего научного руководителя доц. Жаворонкина В.И. за постановку задачи исследования и помощь в её решении.

### **ЛИТЕРАТУРА**

Жаворонкин, В.И. Петрофизический облик золоторудного проявления Милоградское (Приморье) / Жаворонкин В.И., Кулешов А.В - XVIII Международная конференция «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». Материалы конференции. – М.: ИИЦ ФГБУ ИФЗ РАН, 2017. – С. 101-104.

Рихтер А.В. Структура метаморфического комплекса Срединно-Камчатского массива / А.В. Рихтер // Геотектоника. - 1995. - № 1. - С. 71-78.

Сидоров, М.Д. Плотностные неоднородности в верхней коре Шанучского рудного района и проблема выявления невоскрытых никеленосных интрузий (Камчатский срединный массив) / М.Д.Сидоров, В.В. Таскин, Н.А. Вешняков // - Региональная геология и металлогения. - 2016. - №65. - С. 104 - 115.

Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман, - М.: Недра, 1984. - 455 с.

Яроцкий, Г.П. Концепция и программа освоения минерально–сырьевой базы Камчатской области на 2006 - 2010 гг / Г.П. Яроцкий, Ю.А. Бурмаков, А.А. Орлов. - Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского гос. ун-та В. Беринга, 2007. - 112 с.

## **ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ ЗОЛОТО-МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫК-ЧАДР (РЕСПУБЛИКА ТЫВА) И ИХ ПРИРОДА**

Куделина В. В., студентка 4 курса бакалавриата, ВГУ

Медь является одним из основных металлов, на которых во многом держится современная цивилизация. По объему добычи и потребления в мире медь уступает только алюминию, занимая второе место в производстве цветных металлов (Научно-практический ..., 2018).

В настоящее время выделяется шесть основных геолого-промышленных типов месторождений меди (Методические ..., 2007). Месторождение Кызык-Чадр традиционно относится по комплексу признаков к золото-молибден-медно-порфиловому типу (Семенов, Юркевич, 2019), поскольку помимо запасов меди и молибдена здесь в достаточно большом объеме присутствует золотая и серебряная минерализация.

Площадь исследования расположена в юго-восточной части Республики Тыва. Рудовмещающей структурой является габбро-диорит-гранодиорит-гранитный массив Кызык-Чадр средне-позднекембрийского возраста (Объяснительная..., 2019) (рис. 1). В составе продуктивного интрузивного комплекса широко распространены порфиновые породы, слагающие малые пластинообразные и дайкообразные тела, прорывающие гранитоиды главных фаз. Выделено несколько разновидностей порфиловых пород: диоритовые порфириты, кварцевые диоритовые порфириты, монцодиорит-порфириты, гранодиорит-порфиры, а также «кварцевые порфиры» гранит-порфилового состава, которые могут рассматриваться совместно в составе единой «порфиловой фазы» кызыкчадрского комплекса (Андреев и др., 2021). Эти изменения выражены медно-порфиловой минерализацией рудопроявления Кызык-Чадр, локализованной в эндо-экзоконтактовых частях тел кварцевых диорит-порфиритов и гранодиорит-порфилов и развитые в большей степени по гранитам, нежели в самих порфиловых породах.

Геофизические работы выполнялись с целью выявления и прослеживания жильно-прожилковых зон с вкрапленностью рудных минералов среди полей гидротермально измененных пород. Для решения этой задачи был подобран комплекс, включающий электроразведочные работы, магнитометрию и гамма-спектрометрию. Подобный комплекс геофизических методов типичен для поисков месторождений генетически и

пространственно связанных с гидротермально-метасоматическими процессами (Глазнев и др., 2011; Глазнев и др., 2017).

Площадные электроразведочные работы методом ВП-СГ проводились по сети 100x20 м, с размером питающей линии АВ 1200 м, приемной MN – 40 м. Магнитная съемка выполнялась по сети 100x10 м.

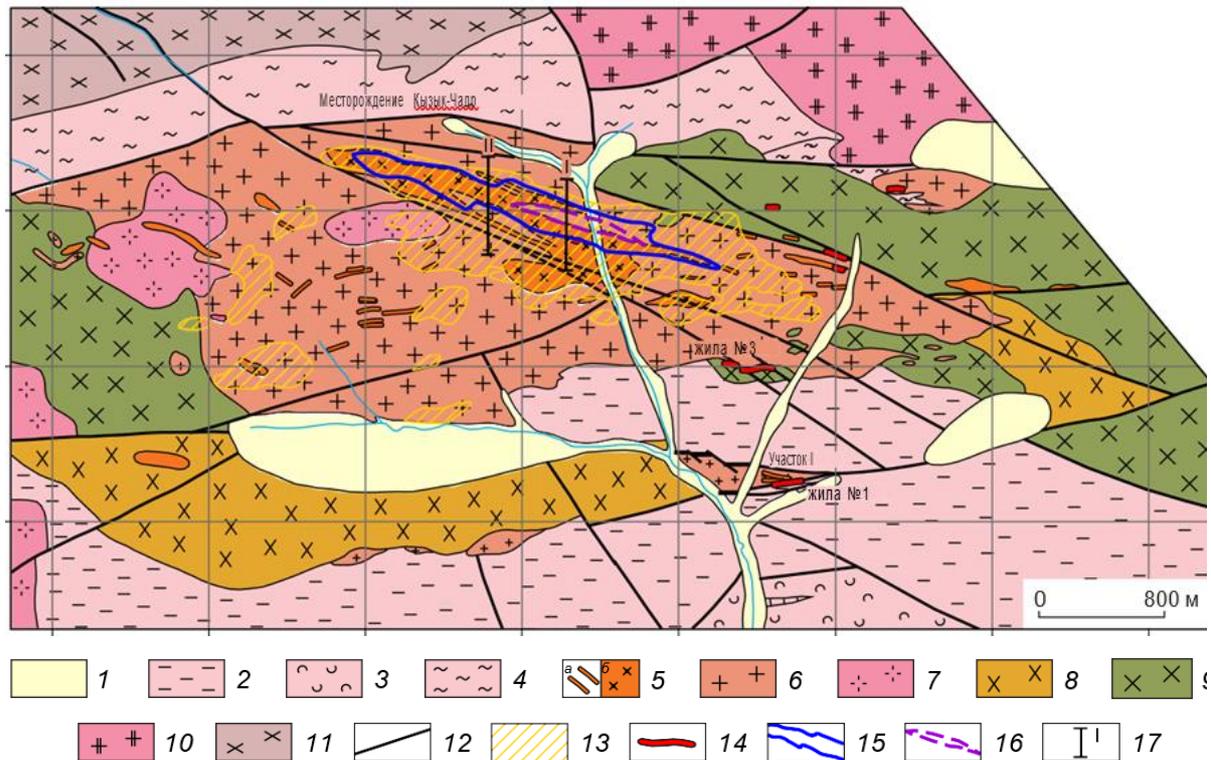


Рис. 1. Геологическая карта центральной части Кызылчадского рудного поля (Андреев и др., 2021): 1 – аллювиальные и пролювиальные образования; туматтайгинская свита: 2 – песчаники и алевролиты пестроцветные, 3 – туфы, туфобрекчии, туфоконгломераты с прослоями лав среднего состава, алевролитов, песчаников, 4 – мигматиты, гнейсы и сланцы; кызылчадский габбро-диорит-гранодиорит-гранитовый комплекс, продуктивный на медно-порфировое и золотокварцевое оруденение: 5 – кварцевые диорит-порфиры, гранодиорит-порфиры, кварцевые порфиры, нерасчленённые (рудноносные фазы) (а – отдельные дайки, б – порфировый интрузив, образованный сближенными в пространстве дайкообразными телами порфировых пород различного состава), 6 – граниты, 7 – гранодиориты, 8 – кварцевые монцодиориты, 9 – диориты, габбродиориты; таннуольский габбро-плагιοгранитный комплекс: 10 – плагιοграниты, тоналиты, 11 – диориты, кварцевые диориты; 12 – разрывные нарушения; 13 – участки интенсивных метасоматических изменений и сульфидной минерализации; 14 – кварцевые жилы, в том числе золотоносные; 15 – контур меднорудного тела по бортовому содержанию Си 0,2 %; 16 – контур рудного тела по бортовому содержанию Си 0,4 %; 17 – линии геологических разрезов

На основании ретроспективных данных (И.А. Бабкин, 2017; А.И. Бабкин, 2019) и собственных петрофизических исследований в лаборатории

Воронежского госуниверситета составлена петрофизическая модель, в которой представлены основные типы пород развитые в пределах Кызыкчадрского рудного поля. Представленные в ней закономерности распределения физических свойств позволяют более точно оценить роль вторичных процессов и степень изменения пород в общей структуре поля (рис. 2).

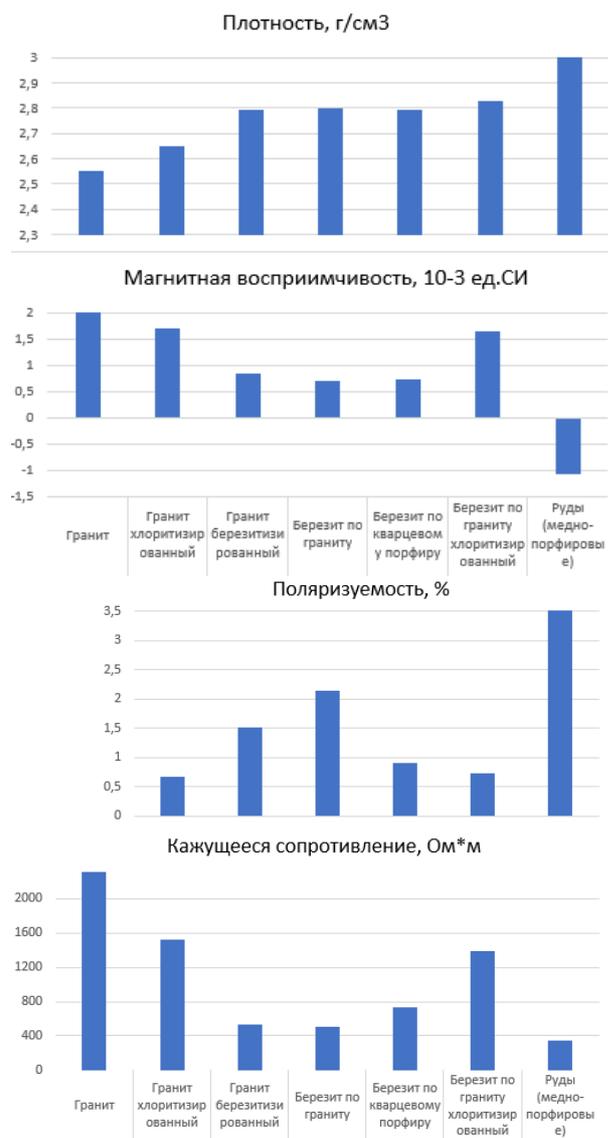


Рис. 2. Петрофизическая модель горных пород и руд Кызыкчадрского рудного поля

На рис. 3 представлена карта изолиний кажущейся поляризуемости  $\eta_k$ . Фоновые значения пород, обрамляющих рудную зону, практически однородны и составляют до 1,5 %. В центре присутствует аномалия повышенных значений поляризуемости. Контур этой аномалии выделен по изолинии 2,5%, на основе результатов, представленных на гистограмме поляризуемости (рис. 2). Из неё видно, что березиты по гранитам, как

главные породы, к которым тяготеет минерализация, имеют поляризуемость выше 2 %.

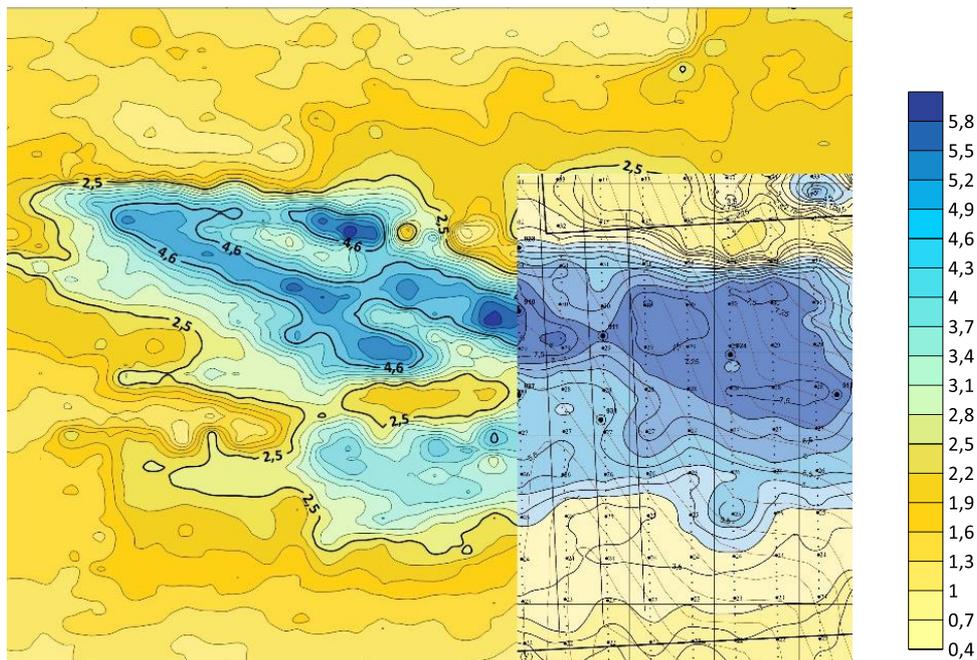


Рис. 3. Карта изолиний кажущейся поляризуемости  $\eta_k$  (на врезке результаты работ предыдущих лет)

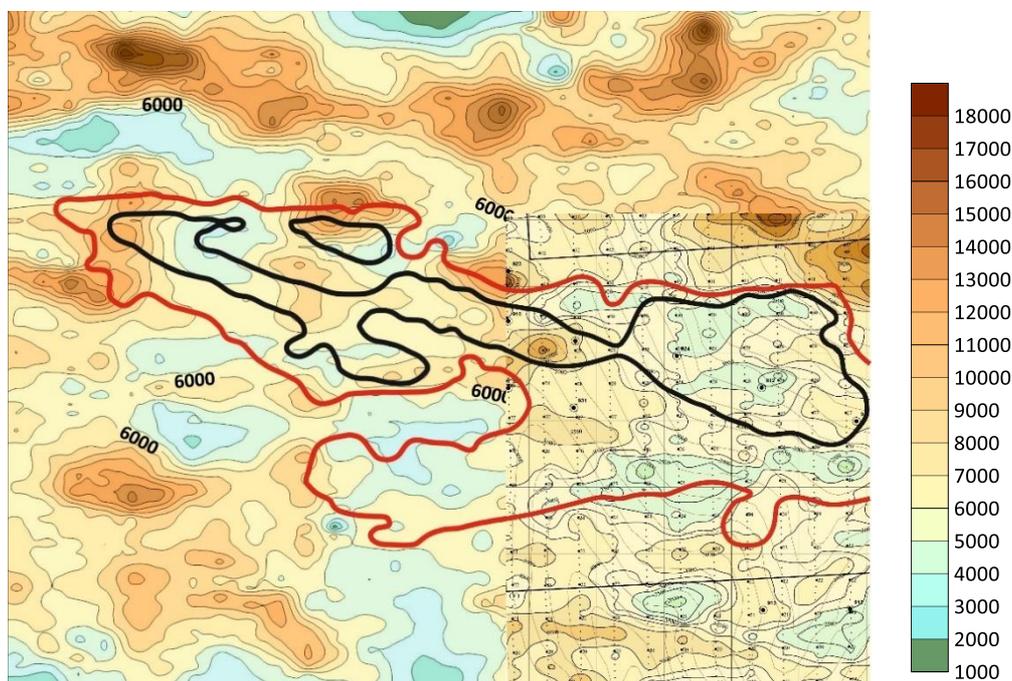


Рис. 4. Карта изолиний кажущегося сопротивления  $\rho_k$  (на врезке результаты работ предыдущих лет). Черным цветом выделен внешний контур аномалии поляризуемости 4,6%, красным - 3,2%

Центральная линейная аномалия юго-восточного простирания с высокими значениями от 4,6 % картирует калиевую и внутреннюю пропиловую зону, сложенную апопорфирами кварц-серицитовыми метасоматитами, медная минерализация в которых превышает >0,2%.

Менее интенсивными значениями, от 2,5 % до 4,5 %, фиксируются зоны феллизитизации и пропиловитизации, по гранитам второй фазы комплекса. Значения кажущейся поляризуемости в пределах аномальной зоны меняются, образуя локальные объекты, что говорит о неравномерном распределении сульфидов.

На карты поля сопротивления и магнитного поля вынесен внешний контур аномалии поляризуемости в 4,6 %, как наиболее четко отображающий границу рудного тела, а также контур аномальной зоны 3,2 % отвечающий зоне калиевого метасоматоза.

Вся площадь исследования – это скальные (изверженные, метаморфические) породы, которые характеризуются высокими кажущимися сопротивлениями  $\rho_k$  от 2000 до 18000 Ом·м. Необходимо отметить, что на величину сопротивления кристаллических образований значительное, порой решающее влияние оказывают такие факторы, как трещиноватость и выветривание.

Можно заметить, что участки внутри аномальной зоны имеют повышенные значения кажущегося сопротивления, такая закономерность может быть обусловлена повсеместными прожилками кварца в метасоматитах. Периферийные участки по внешнему контуру имеют, в свою очередь, пониженные значения параметра, так как граниты и гранит-порфиры второй и третьей фазы комплекса полностью переработаны наложенными процессами и практически не имеют кварцевого прожилкования. Следует иметь в виду, что заметное снижение электрического сопротивления пород отмечается чаще всего при содержании в них вкрапленных сульфидов свыше 7 % (Ерофеев, 1994). Поскольку в пределах Кызыкчадрского месторождения, как и на других медно-порфириновых месторождениях мира, суммарное количество этих минералов редко достигает подобной концентрации, то слабо сульфидизированные рудные зоны могут не отображаться на картах сопротивления.

С учетом геологических данных и установленных лабораторным путем средних значений кажущегося сопротивления, монолитные интрузивные породы кызыкчадрского комплекса характеризуются значениями около 7400 Ом·м. Также следует отметить, что незначительные повышения фоновых значений поляризуемости и существенные (более 8000 Ом·м) – сопротивления на северо-востоке, соответствуют metabазальтам и метаандезитам тумматтайгинский свиты. Сопротивление метасоматитов,

трещиноватых интрузивных пород, метаалевролитов, сланцев этой свиты наиболее низкие на изучаемой площади – 2500 – 4000 Ом·м.

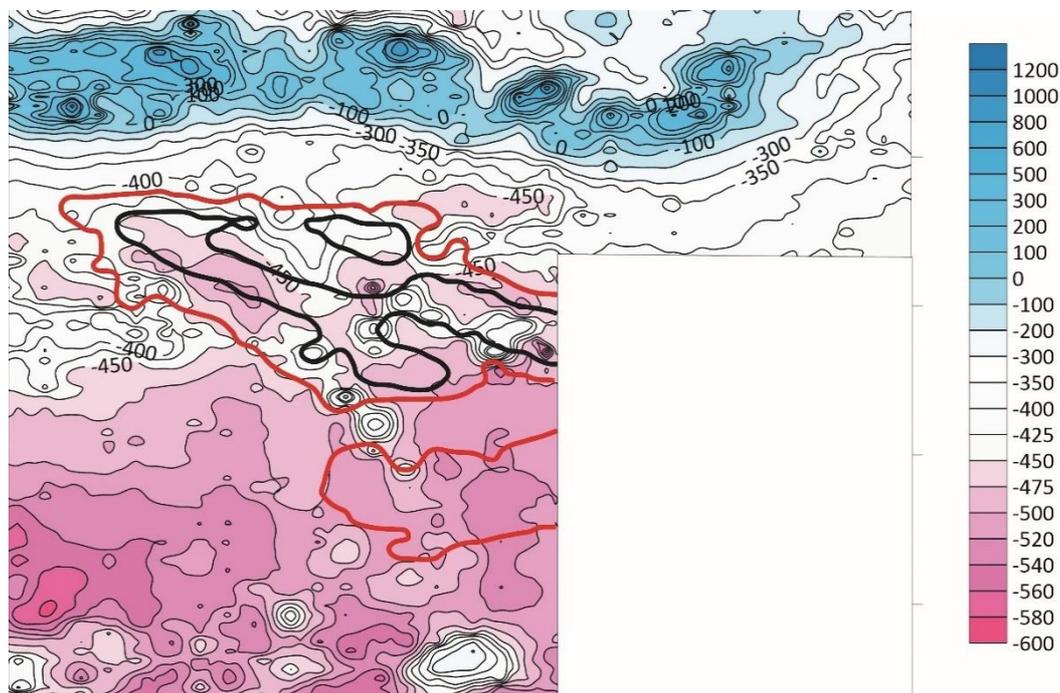


Рис. 5. Карта аномального магнитного поля участка Кызык-Чадр. Черным цветом выделен внешний контур аномалии поляризуемости 4,6%, красным - 3,2%

Аномальное магнитное поле участка исследований (рис. 5) дифференцированное и высокоградиентное. В северной его части выделяется положительная аномалия интенсивностью (-300) - 1200 нТл, связанная с отложениями тумматтайгинской свиты, обрамляющей рудовмещающие интрузии. На всем протяжении в северной части участка присутствуют изометричные аномалии, вероятнее всего, их создают всё те же metabasalts and metaandesites, магнитные свойства которых могут варьироваться в широких пределах. Центральная часть, соответствующая телу медно-порфирового оруденения, в магнитном поле имеет спокойный характер интенсивностью от -300- до -500 нТл. Южная часть площади характеризуется постепенным понижением значений магнитного поля до -600 нТл. Оно, по всей видимости, обусловлено гранитами и гранодиоритами второй фазы кызыкчадрского комплекса.

В рассмотренных геофизических полях наблюдаются характерные нарушения корреляции линейных аномалий с образованием локальных объектов и их смещением. Такое поведение аномальных зон обусловлено разрывными нарушениями в основном северо-восточного простирания. Пример отображения подобного нарушения в физических полях представлен на рис. 6. Центральный и юго-западный его фрагменты наиболее ярко фиксируются в поле поляризуемости нарушениями

корреляции линейных аномалий. В поле сопротивления и магнитном поле этот фрагмент проявляется не столь однозначно, в основном изменениями морфологии полей, градиентными зонами и небольшими изометричными аномалиями.

Крайняя северо-восточная часть разлома наиболее однозначно проявляется в магнитном поле.

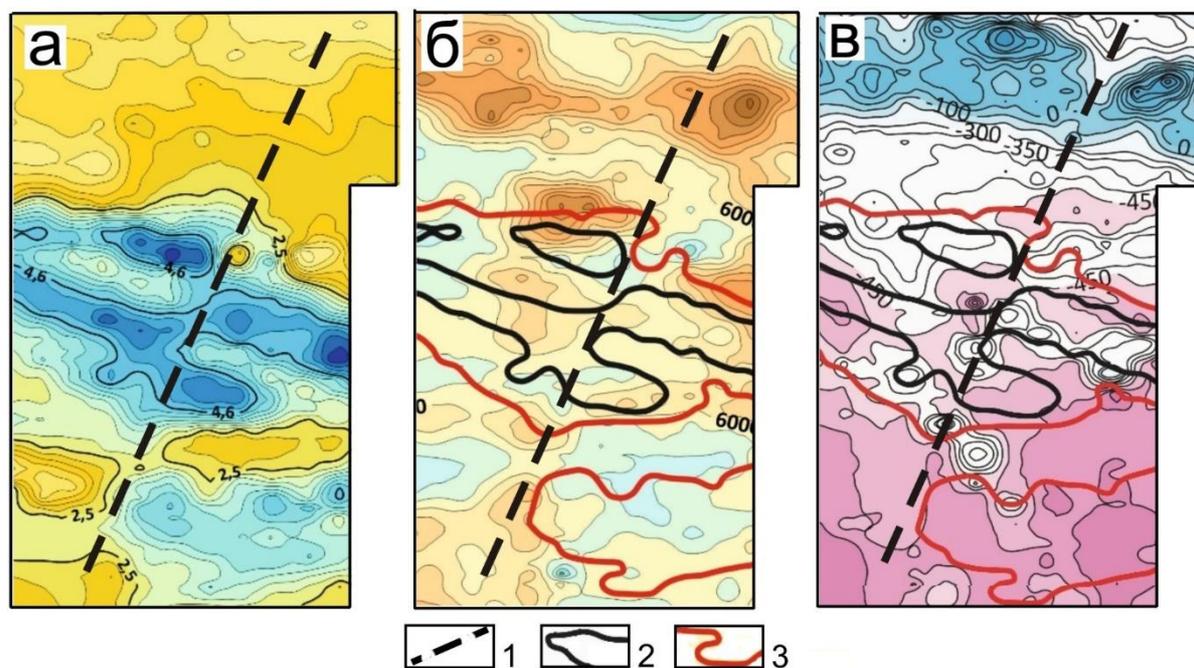


Рис. 6. Отображение предполагаемого тектонического нарушения в поле кажущейся поляризуемости (а), поле кажущегося сопротивления (б), аномальном магнитном поле(в): 1 - осевая линия тектонического нарушения; 2 - контур аномалии кажущейся поляризуемости в 4,6%; 3 - тоже 3,2%

**Выводы.** Рассмотренные электрические и магнитное поля в полной мере отображают геологическое строение и структуру анализируемой части Кызыкчадрского рудного поля. В них отображаются наиболее значимые структурно-вещественные комплексы, потенциально рудоносные зоны и тектонические нарушения.

Автор выражает признательность своему научному руководителю доценту В.И. Жаворонкину за полезное обсуждение материалов в процессе работы и помощь в подборе литературы, а также ведущему геофизику АО «Сибирское ПГО» П.С. Шаврину за предоставленный материал.

## ЛИТЕРАТУРА

Андреев, А.В. Геологическое строение, рудно-метасоматическая и минералого-геохимическая зональность золотосодержащего молибден-медно-порфирирового месторождения Кызык-Чадр, Республика Тыва / А.В.

Андреев, М.М. Гирфанов, И.А. Старостин [и др.] // Руды и металлы. – 2021. - №1. – С. 57-76.

Глазнев, В.Н. Комплексные геолого-геофизические исследования при поисковых работах в условиях Северного Урала / В.Н. Глазнев, В.И. Жаворонкин, Р.А. Терентьев, П.В. Кораблинов, И.В. Притыка // Руды и металлы. -2011. - №3-4. –С. 37-38

Глазнев, В.Н. Детальный прогноз золотого оруденения по комплексу геолого-геофизических данных (Приморье, месторождение Глухое) / В.Н. Глазнев, В.И. Жаворонкин, В.Н. Груздев, И.Ю. Антонова, А.Ю. Доманин // Вопросы естествознания. - 2017. – №1 (13). – С. 44-47.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Западно-Саянская. Лист N-46-XXXV (Уюк). Объяснительная записка [Электронный ресурс] / М.И. Семенов [и др.]; Минприроды России, Роснедра, Центрсибнедра, АО «Красноярскгеолсъемка». – Электрон. текстовые дан. – М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2019. – 131 с. – Режим доступа: [http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap\\_N-46-XXXV.pdf](http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap_N-46-XXXV.pdf) . - Яз.рус. - (Дата обращения: 10.03.2023).

Дортман, Н.Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых / Н. Б. Дортман [и др.] . – М.: Недра, 1984. – 455 с.

Ерофеев, Л.Я. Электрические свойства минералов и горных пород / Л.Я. Ерофеев. - Томск: Изд-во ТПУ, 1994. - 54 с.

Научно-практический журнал «Экологический вестник России» [Электронный ресурс] / Ред. Б.Г. Триль – Электрон. дан. – М.: Госкомпечать СССР, 1990.– Режим доступа: <http://ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/nashi-publikacii/2862-sovremennye-tendentsii-i-problemy-osvoeniya-medno-porfirovykh-mestorozhdenij-rossijskoj-federatsii>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (медные руды). - М.: ФГУ ГКЗ, 2007. - 39 с.

Семёнов, М.И. Геология, геохимия и рудоносность Ожинского интрузивного плутона / М.И. Семёнов, Л.Г. Юркевич // Геологическое строение и полезные ископаемые Центральной Сибири. – Красноярск: АО «Сибирское ПГО», 2019. – С. 110–119.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГРАВИРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НИКЕЛЯ (КАМЧАТКА)**

Самойленко В.А., студент 4 курса бакалавриата, ВГУ

Полуостров Камчатка находится в зоне Тихоокеанского кайнозойского складчатого пояса, который был сформирован в зоне субдукции. Восток полуострова и Курильские острова входят в зону наиболее активных контактов литосферных плит. Одной из главных задач экономики региона является поиск и добыча полезных ископаемых. Разрабатываемое месторождение Шануч является основой минерально-сырьевой базой никеля в Камчатском крае.

Месторождение расположено в западных отрогах Камчатского срединного хребта и состоит из нескольких медно-никелевых тел, представленных столбообразными залежами массивных и вкрапленных руд. Руда существенно никелевая, медь играет подчиненную роль (Новаков и др., 2017). Рудные тела приурочены к крутонаклонным дайкообразным интрузиям, характеризующимся сложным строением.

При поисках и разведке медно-никелевых руд, как правило, используются такие методы, как гравirazведка, магниторазведка, электроразведка (ВП и МПП).

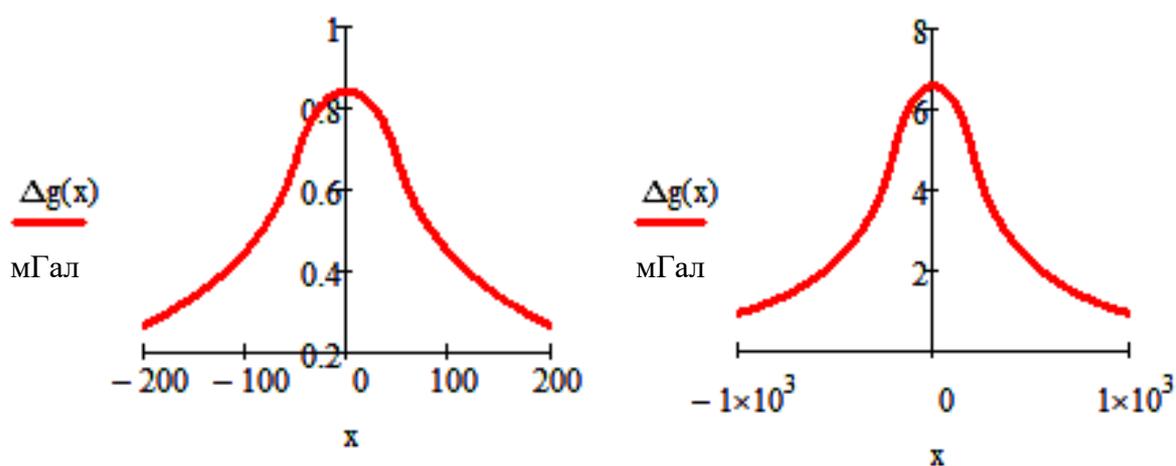
Применение гравirazведки обусловлено высокой плотностью пород слагающих никеленосные интрузии по сравнению с вмещающими породами, а также их расположением в верхней части коры. Для рудных тел плотность зависит от структурно-текстурных особенностей и, соответственно, от доли сульфидной фракции. Так плотность массивных руд составляет  $3,71 \text{ г/см}^3$ , прожилково-вкрапленных –  $3,0 \text{ г/см}^3$ , вкрапленных –  $2,8 \text{ г/см}^3$ . При небольшом количестве рудных вкрапленников плотность близка к плотности базитов, вмещающих рудные тела (Сидоров и др., 2016).

Рудоносные интрузии слабомагнитны, и практически не отражаются в аномальном магнитном поле (Сидоров и др., 2006). Эта особенность отличает их от других интрузивных комплексов пород основного и ультраосновного состава, распространенных на территории Камчатского срединного массива. Тем не менее, применение магниторазведки позволяет разделить положительные гравитационные аномалии различной природы.

Одной из главных задач электроразведки при выявлении медно-никелевых руд является выделение зон сульфидной минерализации на фоне хорошо поляризующихся и проводящих пород, не являющихся объектом поиска. В основном, используется два метода электроразведки: метод

переходных процессов (МПП) и метод вызванной поляризации (ВП) (Тархов и др., 1980).

Для оценки эффективности применения гравиразведки было проведено численное моделирование гравитационных аномалий от моделей никеленосных интрузий, которые были аппроксимированы вертикальным мощным пластом. Глубина залегания верхней ( $h$ ) и нижней ( $H$ ) кромок пласта, мощность ( $2b$ ), значение избыточной плотности ( $\Delta\sigma$ ) выбирались в соответствии с параметрами рудоносных интрузий, распространенных в пределах Шанучского рудного района. Аномальное гравитационное поле было рассчитано для ряда моделей (рис. 1) по алгоритму, изложенному в (Воронова и др., 2013).



а) б)  
Рис. 1. Результаты моделирования. Аномальное гравитационное поле:  
а) модель 1:  $\Delta\sigma = 0.2 \text{ г/см}^3$ ,  $h = 5 \text{ м}$ ,  $H = 500 \text{ м}$ ,  $b = 50 \text{ м}$ ;  
б) модель 2:  $\Delta\sigma = 0.3 \text{ г/см}^3$ ,  $h = 20 \text{ м}$ ,  $H = 1000 \text{ м}$ ,  $b = 200 \text{ м}$

*Выводы.* По результатам моделирования потенциально никеленосным интрузиям будут соответствовать положительные аномалии гравитационного поля различной интенсивности. Применение гравиразведки при поисках месторождений никеля позволит увеличить эффективность геофизических исследований.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю доц. Т.А. Вороновой за предоставленные программы решения прямой задачи и полезное обсуждение результатов моделирования.

## ЛИТЕРАТУРА

Воронова, Т.А. Методические указания к курсовой работе по гравиразведке и магниторазведке. Практикум для ВУЗов / Т.А. Воронова, В.Н. Груздев // Воронеж: изд. ВГУ. - 2013. - 14 с.

Новаков, Р.М. Медно-никелевые руды участка Восточно-Геофизический (Шанучское рудное поле, Камчатка) / Р.М. Новаков, Ю.П. Трухин, В.Е. Кунгурова, М.Д. Сидоров, С.В. Паламарь, Т.М. Философова // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2017. – № 1 (33). – С. 34-45.

Сидоров, М.Д. Геофизические поля и никеленосность Камчатского срединного массива / М. Д. Сидоров, В. А. Степанов // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. – 2006. – №2 (8). – С. 140-150.

Сидоров, М.Д. Плотностные неоднородности в верхней коре Шанучского рудного района и проблема выявления нескрытых никеленосных интрузий (Камчатский срединный массив) / М.Д. Сидоров, В.В. Таскин, Н.А. Вешняков // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 65. – С. 104-115.

Тархов, А.Г. Электроразведка. Справочник геофизика / А.Г. Тархов, В.В. Федынский. – М. : Недра, 1980. – 518 с.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАВИРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКАХ КАРСТОВЫХ ПОЛОСТЕЙ

Синяпкина И.В., студентка 2 курса магистратуры, ВГУ

Карстующиеся горные породы различного литологического состава, распространены достаточно широко на территории России и занимают около половины её территории. Карст представляет собой совокупность процессов и явлений, вызванных растворением подземными, поверхностными водами горных пород и проявляющихся в образовании в них пустот (Ежов и др., 1992)

Традиционно при изучении карста и карстующихся пород привлекают различные модификации электроразведки (Ерохин и др., 2011; Жаворонкин и др., 2015; Мслькановицкий и др., 1997).

Не менее эффективно при решении данных задач применение гравиметрии, которая позволяет локализовать и изучить внутреннюю структуру потенциально-опасных для строительства участков развития трещиноватости, размыва и других вторичных процессов. Режимные гравиметрические наблюдения проводят для изучения динамики развития карста (Бычков и др., 2013). Карстовые полости выявляются и прослеживаются по локальным аномалиям силы тяжести ( $\Delta g$ ) или их вертикальному градиенту ( $V_{zz}$ ) (Бычков и др., 2014; Ли и др., 2018; Меньшиков и др., 2003).

Совместное использование  $\Delta g$  и  $V_{zz}$  дает большую информативность при интерпретации (Антонов и др., 1996; Антонов и др., 1999). Вертикальный градиент силы тяжести позволяет значительно расширить возможности по локализации гравитационных аномалий. Амплитуда  $\Delta g$  зависит от плотности и размеров объекта, а амплитуда  $V_{zz}$  – от плотности, следовательно, если увеличивать размеры тела, не меняя плотность, то амплитуда  $\Delta g$  будет расти, а амплитуда  $V_{zz}$  останется постоянной. Вертикальный градиент менее чувствителен к размерам аномальных тел, а амплитуда аномалии  $\Delta g$  будет достаточно большой, если даже избыточная плотность мала, но размеры объекта большие. Мелкие локальные тела с большой избыточной плотностью могут находить четкое выражение в аномалии  $V_{zz}$ , имея аномалию  $\Delta g$  по амплитуде сравнимую с погрешностью наблюдений. При этом крупные тела с малой избыточной плотностью могут быть обнаружены только по аномалиям  $\Delta g$ .

Для оценки эффективности применения гравирозведки при поисках карстовых полостей было проведено моделирование аномального поля силы тяжести и его вертикального градиента. При решении прямой задачи

гравirazведки учитывалось геологическое строение, а также значения плотностей пород, слагающих объекты моделирования. Аномальное гравитационное поле и его вертикальный градиент рассчитывались для различных плотностных моделей.

На рис. 1 представлена трехмерная модель, состоящая из 5 слоев. Мощность каждого слоя – 10 м, размер модели в плане – 200×100 м. Разновидности пород модели представлены глиной, известняком и ангидритом.

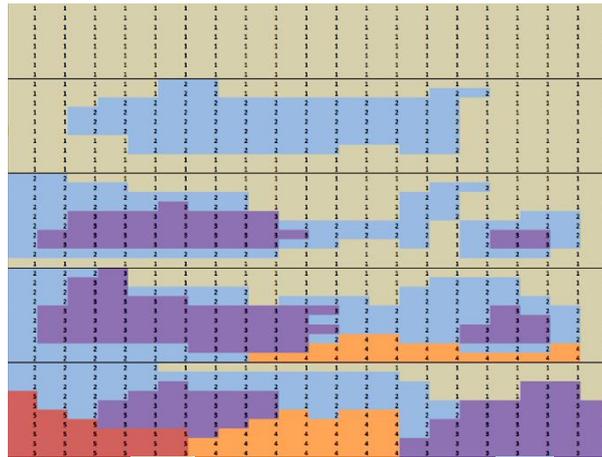


Рис. 1. Плотностная модель: 1 – глина  $\sigma = 2,3 \text{ г/см}^3$ , 2 – ангидрит  $\sigma = 2,9 \text{ г/см}^3$ , 3 – ангидрит  $\sigma = 2,4 \text{ г/см}^3$ , 4 – известняк  $\sigma = 2,5 \text{ г/см}^3$ , 5 – ангидрит  $\sigma = 2,7 \text{ г/см}^3$

На рис. 2 приведены результаты решения прямой задачи гравirazведки для трехмерной плотностной модели, представленной на рис. 1.

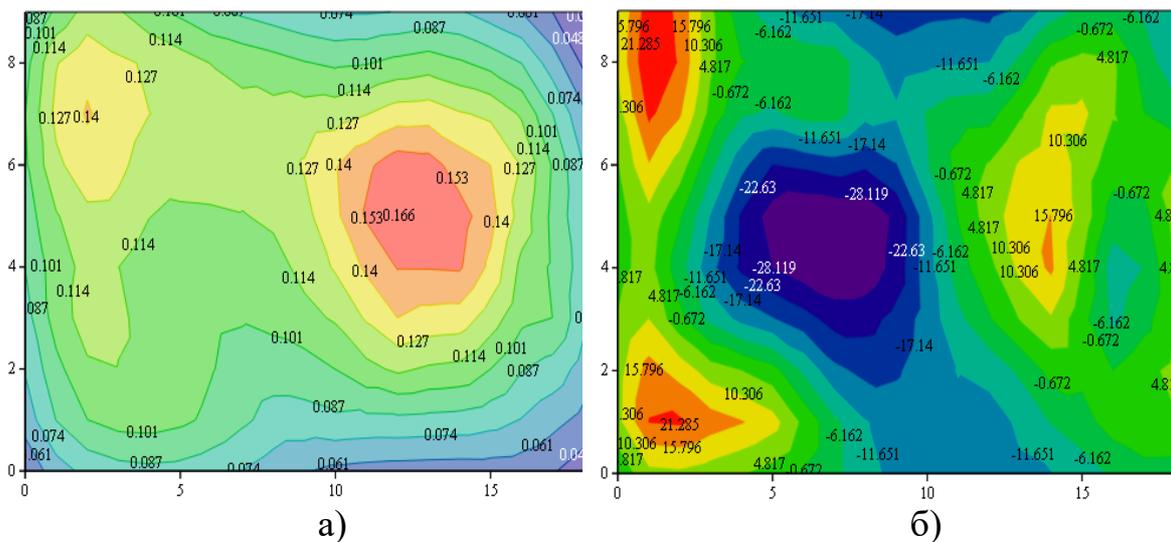


Рис. 2. Результаты моделирования: а) аномальное гравитационное поле  $\Delta g$  (мГал); б) вертикальный градиент  $V_{zz}$  (E)

На карте гравитационного поля (рис. 2а) отчетливо прослеживается положительная аномалия в восточной части участка моделирования, которая связана с особенностями залегания неизмененного известняка. Однако, в центральной части на фоне повышенных значений поля наблюдается область пониженных значений, которая связана с наличием пористого ангидрита в геологическом разрезе модели. В данном случае зона развития трещиноватых пород слабо проявляется в аномальном гравитационном поле. При этом на карте вертикального градиента силы тяжести она отчетливо фиксируется отрицательной аномалией интенсивностью порядка  $-30 \text{ E}$  (рис. 2б).

*Выводы.* Совместное использование гравитационного поля и его вертикального градиента дают большую информативность при интерпретации данных при исследовании карстовых полостей.

Автор выражает благодарность своему руководителю доц. Вороновой Т.А. за предоставленные материалы и полезное обсуждение результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

Антонов, Ю.В. Измерение вертикальных приращений силы тяжести над телами правильной формы / Ю.В. Антонов, В.И. Жаворонкин, С.В. Слюсарев // Вестн. Воронежского университета. Сер. Геология. -1996. - Вып.2. -С. 190-194.

Антонов, Ю.В. Новые возможности гравиметрии в изучении геологического строения земной коры / Ю.В. Антонов, В.И. Жаворонкин, С.В. Слюсарев // Геофизика. -1999. -№ 3. -С.47-52.

Бычков, С.Г. Гравиметрический мониторинг территории разработки Верхнекамского месторождения калийных солей / С.Г. Бычков, Г.В. Простолупов, Г.П. Щербинина // Пермь: Горный институт УрО РАН. – 2013. – С 22-25.

Бычков, С.Г. Прогноз потенциально опасных участков при разработке Верхнекамского месторождения калийных солей по гравиметрическим данным / С.Г. Бычков, Г.В. Простолупов, Г.П. Щербинина // Пермь: Горный институт УрО РАН. – 2014. – С. 19-23.

Ежов Ю.А. Карст в земной коре: распространение и основные типы / Ю.А. Ежов, Г.П. Лысенко, В.Н. Андрейчук, Ю.В. Дублянский. - Новосибирск: Изд-во ОИГГиМ РАН, 1992. - 76 с.

Ерохин, С.А. Возможности электрической томографии при изучении карстово-суффозионных воронок / С.А. Ерохин, И.Н. Модин, В.П. Новиков, А.М. Павлова // Инженерные изыскания. - 2011. - №9. -С. 66-72.

Жаворонкин, В.И. Применение методов электроразведки при инженерно-геологических изысканиях в условиях северного склона Воронежской антеклизы / В.И. Жаворонкин, В.Н. Груздев, Зацепин, А.А.

Бакумцев, А.Ю. Доманин // Вестник Воронежского госуниверситета. Сер. Геология. -2015. - № 4. - С. 128-133.

Ли, Л.В., Изучение суффозионно-карстовых явлений комплексом геофизических методов. Обзор / Л.В. Ли, С.С. Кудайбергенова // М. : ТОО «НПЦ «Геокен»». – 2018. – С. 55-64.

Меньшиков Ю.П., Блинецов М.Т., Первушин А.В. Результаты томографических и высокоточных гравиметрических исследований карстовых явлений на участке газопровода Бухара-Урал / Ю.П. Меньшиков, М.Т. Блинецов, А.В. Первушин // М. : ЕАГО и др. – 2003. – С. 545-546.

Мслькановицкий, И.М. Геофизические методы изучения современных геодинамических процессов и явлений при инженерно-геологических исследованиях / И.М. Мслькановицкий, Н.Н. Шарапанов. - М.: Геоинформмарк, 1997. - 55 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКАХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

Сорокин М.А., Ситников Н.Ю., студенты 2 курса магистратуры, ВГУ

При поисках месторождений золота геофизические методы широко применяются в различных физико-геологических условиях территорий исследования. Для различных регионов разработаны рациональные комплексы геофизических методов (Долгаль и др., 2008).

Применение геофизических методов позволяет уточнить геологическое строение площади исследования, а также локализовать рудоперспективные участки на основе структурных, литолого-фациальных, магматических факторов. И далее, в пределах перспективных участков, определить положение кварцевых жил и зон окварцевания горных пород. Комплекс геофизических методов при поисках месторождений золота, как правило, включает в себя магниторазведку и электроразведку в различных модификациях (Глазнев и др., 2017; Пустозеров и др., 2006; Хасанов и др., 2012).

Магнитометрия применяется для решения таких задач, как картирование геологических разностей горных пород, различающихся по своим магнитным свойствам, картирование малых интрузивных тел различного состава, выделение и прослеживание зон тектонических нарушений (Носырев, 2000).

Хабаровский край является одним из ведущих золотодобывающих регионов России. Одно из месторождений золота Албазино расположено в районе им. Полины Осипенко Хабаровского края. Оно относится к геолого-промышленному типу золото-сульфидных месторождений в черносланцевых и песчано-сланцевых толщах (Вольский и др., 2004). Рудная зона разбита на ряд блоков поперечными разломами северо-восточного простирания. По простиранию оруденение прослежено более чем на 700 м, по вертикали до 400-450 м. Рудные тела представлены пластообразными и линзообразными минерализованными зонами протяжённостью от 20 до 300 м, мощность которых изменяется в пределах от 2 до 50 м. Угол падения составляет 30-70°. Главный жильный минерал, занимающий 90% от объёма руды – кварц, главные рудные минералы – сульфиды.

Для оценки эффективности применения магниторазведки в данных условиях рассчитаны кривые зависимости интенсивности аномального магнитного поля от глубины залегания верхней кромки кварцевых жил при различных значениях мощности. Кварцевые жилы были аппроксимированы наклонным тонким пластом. Параметры пласта задавались с учетом

геологического строения месторождения Албазино. Учитывая тот факт, что кварц является диамагнетиком, над кварцевыми жилами будет наблюдаться отрицательное аномальное магнитное поле.

Кривые зависимости рассчитывались для ряда моделей кварцевых жил. Глубина залегания верхней кромки задавалась в интервале от 0.1 до 10 м; глубина залегания нижней кромки составляла 150 м; магнитная восприимчивость равнялась  $(-10 \cdot 10^{-5})$  ед. СИ, что соответствует среднему значению для кварца; угол наклона пласта –  $70^\circ$ . Результаты расчетов для двух моделей пластов различной мощности, выполненных на основании аналитических выражений для магнитного поля от тонких наклонных пластов (Воронова и др., 2012; Глазнев и др., 2017), приведены на рис. 1.

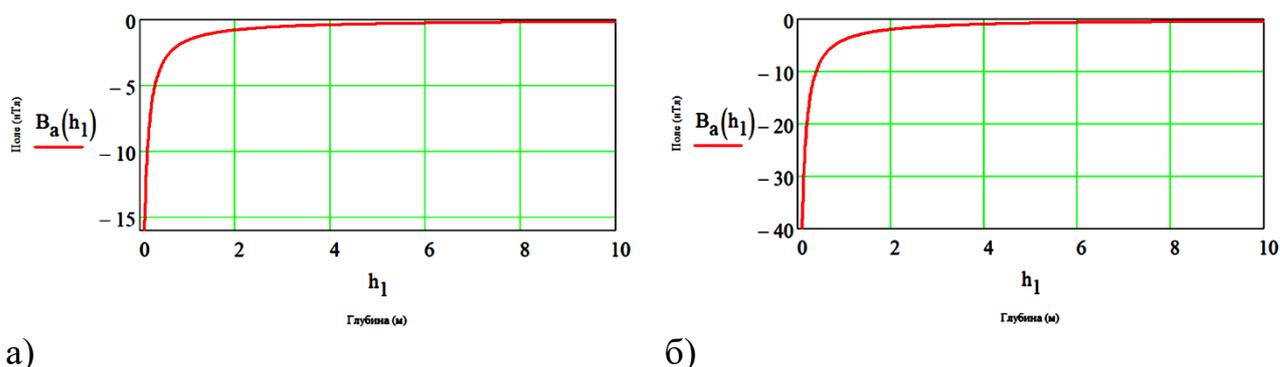


Рис. 1. Кривые зависимости интенсивности аномального магнитного поля от глубины залегания верхней кромки пласта: а) мощность пласта 2 м; б) мощность пласта 5 м

Так же были рассчитаны кривые зависимости интенсивности аномального магнитного поля от глубины залегания нижней кромки кварцевых жил при различных значениях мощности (рис. 2).

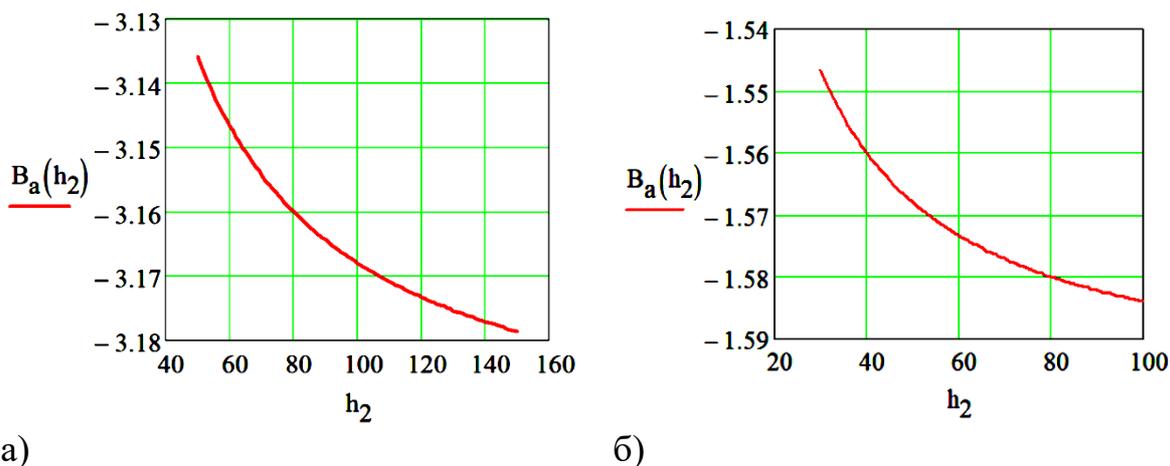


Рис. 2. Кривые зависимости интенсивности аномального магнитного поля от глубины залегания нижней кромки пласта: а) мощность пласта 4 м; б) мощность пласта 2 м

Так как золоторудные месторождения данного типа представляют собой совокупность кварцевых жил, было рассчитано суммарное аномальное магнитное поле от нескольких объектов. Суммарное поле было рассчитано для ряда моделей при различных соотношениях глубины залегания верхних кромок пластов и их мощностей.

Глубина залегания верхней кромки задавалась в интервале значений от 0.3 до 2 м; глубина залегания нижней кромки составляла 100 м; мощности пластов составляли от 1 до 3 м (рис. 3).

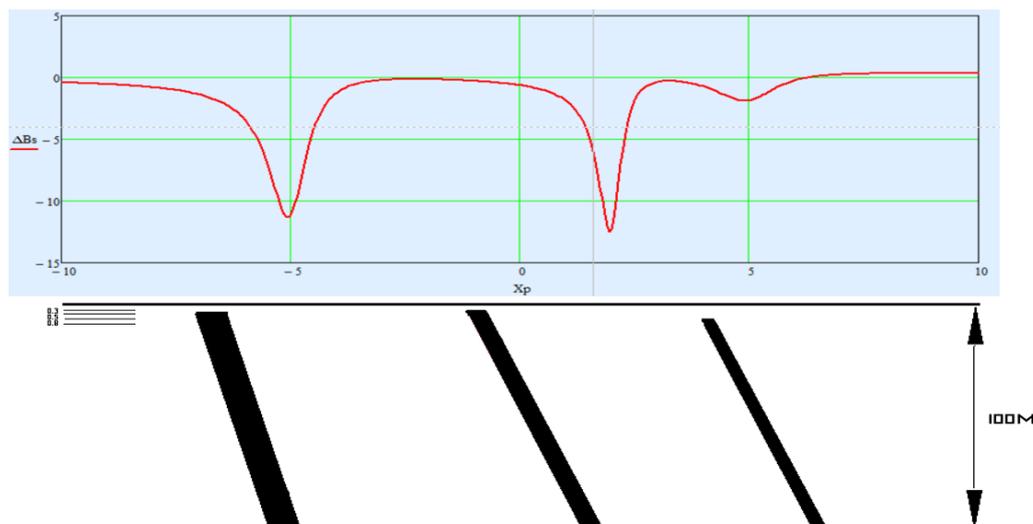


Рис. 3. Суммарное аномальное магнитное поле

*Вывод.* Применение высокоточной магниторазведки позволит определить и уточнить местоположение кварцевых жил при правильно подобранном шаге наблюдения.

Авторы выражают благодарность доценту кафедры геофизики Т.А. Вороновой за предоставленные материалы и полезное обсуждение результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

Вольский, А.С. Тектоника, глубинное строение и минерагения Приамурья и сопредельных территорий / А.С. Вольский и др. // С-Пб. : ВСЕГЕИ, 2004. – 190 с.

Воронова, Т.А. Решение прямых задач магниторазведки для произвольно намагниченных тел правильной формы. Практикум для ВУЗов / Т.А. Воронова, В.Н. Глазнев // Воронеж: изд. ВГУ. - 2012. - 38 с.

Глазнев, В.Н. Магниторазведка. Электронный учебный курс. / В.Н. Глазнев, Т.А. Воронова // Электронный университет ВГУ. – 2017. <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2427>.

Глазнев, В.Н. Детальный прогноз золотого оруденения по комплексу геолого-геофизических данных (Приморье, месторождение Глухое) / В.Н.

Глазнев, В.И. Жаворонкин, В.Н. Груздев, И.Ю. Антонова, А.Ю. Доманин // Вопросы естествознания. - 2017. – №1 (13). – С. 44-47.

Долгаль, А.С. Результаты и перспективы геофизических исследований при поисках рудного золота на восточном склоне Кузнецкого Алатау / А.С. Долгаль, Л.А. Христенко // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2008. – № 2 (12). – С. 48-60.

Носырев, М.Ю. Геофизические характеристики золоторудных районов Верхнего Приамурья / М.Ю. Носырев // «III века горно-геологической службы России» : тез. докл. региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. – Томск, 2000. – Т. 2. – С. 475-476.

Пустозеров, М.Г. Геофизические методы в комплексе золотопоисковых работ в ЗАО «Полюс» / М.Г. Пустозеров, А.Г. Шугаев // Разведка и охрана недр. – 2006. – № 12. – С. 42-46.

Хасанов, И.М. Создание оптимального комплекса геофизических исследований при поисках золоторудных месторождений Северо-Востока России / И.М. Хасанов, В.М. Шарафутдинов // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11. – С. 1078-1094.

# КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ САМОРОДНОГО СЕРЕБРА НА УЧАСТКЕ ХАЧАКЧАН В ПРЕДЕЛАХ АЛЛАРО-САХСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

Сотников А.А., студент 4 курса бакалавриата, ВГУ

*Введение.* Участок Хачакчан расположен в Томпонском улусе (Восточная Якутия), в бассейне ручьев Ном и Левый Хачакчан. В геологическом строении рудопроявления принимают участие отложения теберденской, дадойской и опуонской свит верхней перми, моноклиально залегающие на северо-восточном крыле Алара-Сахской антиклинали. Пласты пород прорваны серией разрывных нарушений, главным образом, северо-восточного простирания. Нарушения имеют субвертикальные падения. Нарушения северо-восточного простирания являются рудоподводящими и рудовмещающим структурами. Протяженность их составляет 0,5-3,5 км. Пространственной связи оруденения с магматизмом не установлено (Кокин и др., 1999). Целью проведения геофизических работ являлось уточнение тектонического строения участка, а также обнаружение и прослеживание потенциальных рудовмещающих структур в плане и на глубину (Амузинский и др., 1992; Костин и др., 2011).

*Методика работ.* Для решения поставленных задач использован комплекс геофизических методов, состоящий из магниторазведки, гамма-спектрометрии и электротомографии. Профили задавались вкрест простирания предполагаемых тектонических нарушений.

*Магниторазведка.* Съёмка выполнялась в масштабе 1:5 000, расстояние между пикетами составляло 5 м между профилями 50 м. Измерения проводились оверхаузеровским магнитометром MiniMag производства компании ООО «ГЕОДЕВАЙС». Для выбора положения магнито-вариационной станции (МВС) была проведена геомагнитная съёмка, по результатам которой выбрано место с наименьшим градиентом поля. Вариации магнитного поля регистрировались магнитометром того же типа, что и при площадной съёмке. Вследствие того, что аномальное магнитное поле в данной области малоамплитудно, было принято решение производить по 3 измерения на каждой точке.

*Гамма-спектрометрия.* Съёмка выполнялась по той же сети наблюдения гамма-спектрометром Gamma Surveyor Vario производства компании GF Instruments (Чехия). Продолжительность регистрации гамма-излучения выбрана экспериментальным путем, при этом опытный профиль был многократно пройден с разным циклом измерения. В итоге выбрано время, равное 30 сек.

*Обработка и интерпретация.* Обработка полученных данных проводилась в несколько этапов. На первом была задействована программа MS Excel, в которой вносились поправки и формировались базы данных. Для формирования карт изолиний использовался Golden Software Surfer, в котором строились карты аномального магнитного поля. Для более информативного представления, было применено преобразование Бокс-Кокса (Порунов, 2010), рассчитанное в MS Excel. По результатам гамма-спектрометрической съемки построены карты распределения радиоактивных элементов.

Анализируя сформированные карты, можно заметить наличие шумовой компоненты. На карте  $\Delta T_a$  это профильные аномалии, на карте распределения радионуклидов калия это ложные аномалии. И те, и другие осложняют дальнейшие расчеты, поэтому уменьшение их влияния стало одной из задач обработки материалов.

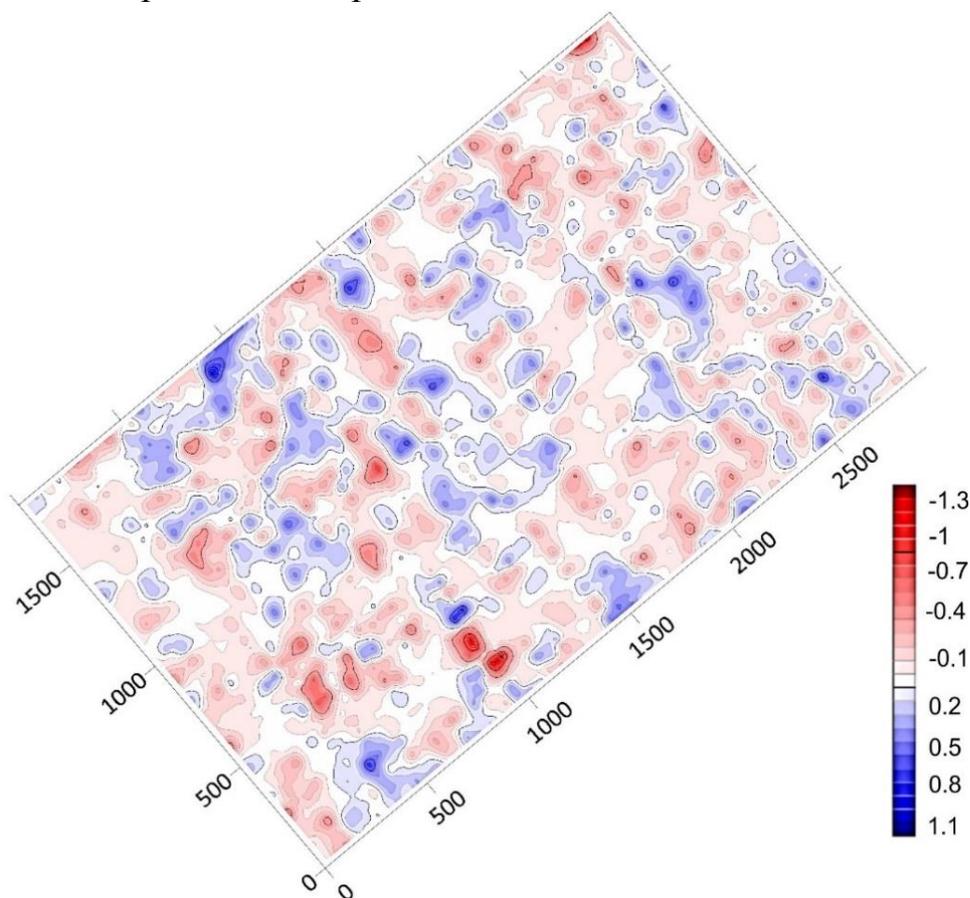


Рис. 1. Карта асимметрии (усл. ед.), рассчитанной по  $\Delta T_a$

Для того, чтобы получить дополнительную полезную информацию из полученных материалов, было принято решение использовать вероятностно-статистический подход, а именно - расчет статистических характеристик в скользящем окне. Статистические атрибуты, рассчитанные таким образом, могут быть полезны при получении дополнительных

данных так, например, области экстремальных значений дисперсии, асимметрии и эксцесса определяют области статистической стационарности геофизических полей, которые могут быть приурочены к геологическим границам или тектоническим нарушениям (Никитин и др., 2021).

На первом этапе вычисление статистических характеристик производилось в комплексе спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D» (Никитин и др., 2021, 2017; Петров и др., 2010; Петров, 2018).

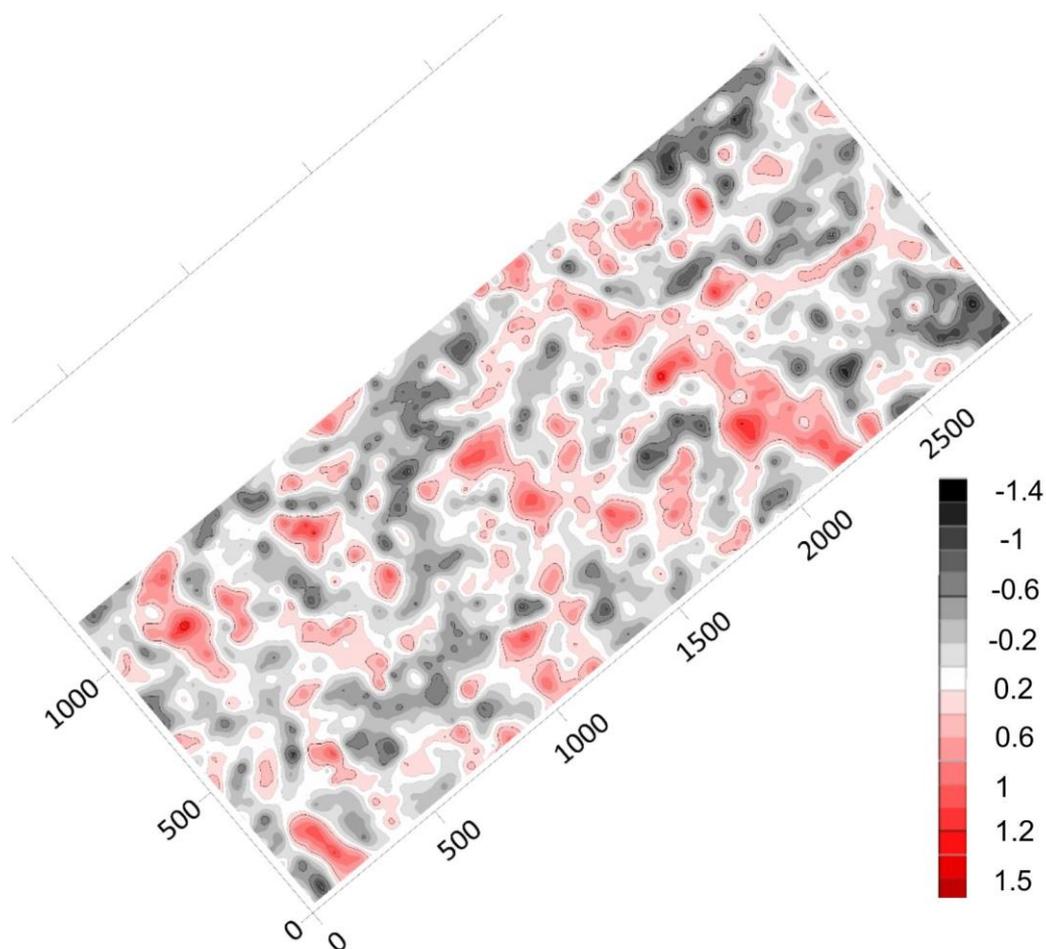


Рис. 2. Карта асимметрии (усл. ед.), рассчитанной по калию

Для подавления шумовой компоненты расчет статических характеристик производился в окне 5 на 5 по осредненным значениям в окне 10 на 10 (Глазнев, 2017). Избавиться от локальных шумов удалось лишь частично. Расчеты асимметрии и эксцесса по данным гамма-спектрометрии также не привели к удовлетворительным результатам, поскольку, экстремумы значений оказались приурочены к вышеупомянутым «ложным» аномалиям. Таким образом, результаты, полученные при расчетах в программе «КОСКАД 3D», не позволили полностью подавить шумовую компоненту. Причиной этого можно считать некорректную

интерполяцию первичных данных, вызванную особенностью сети наблюдений.

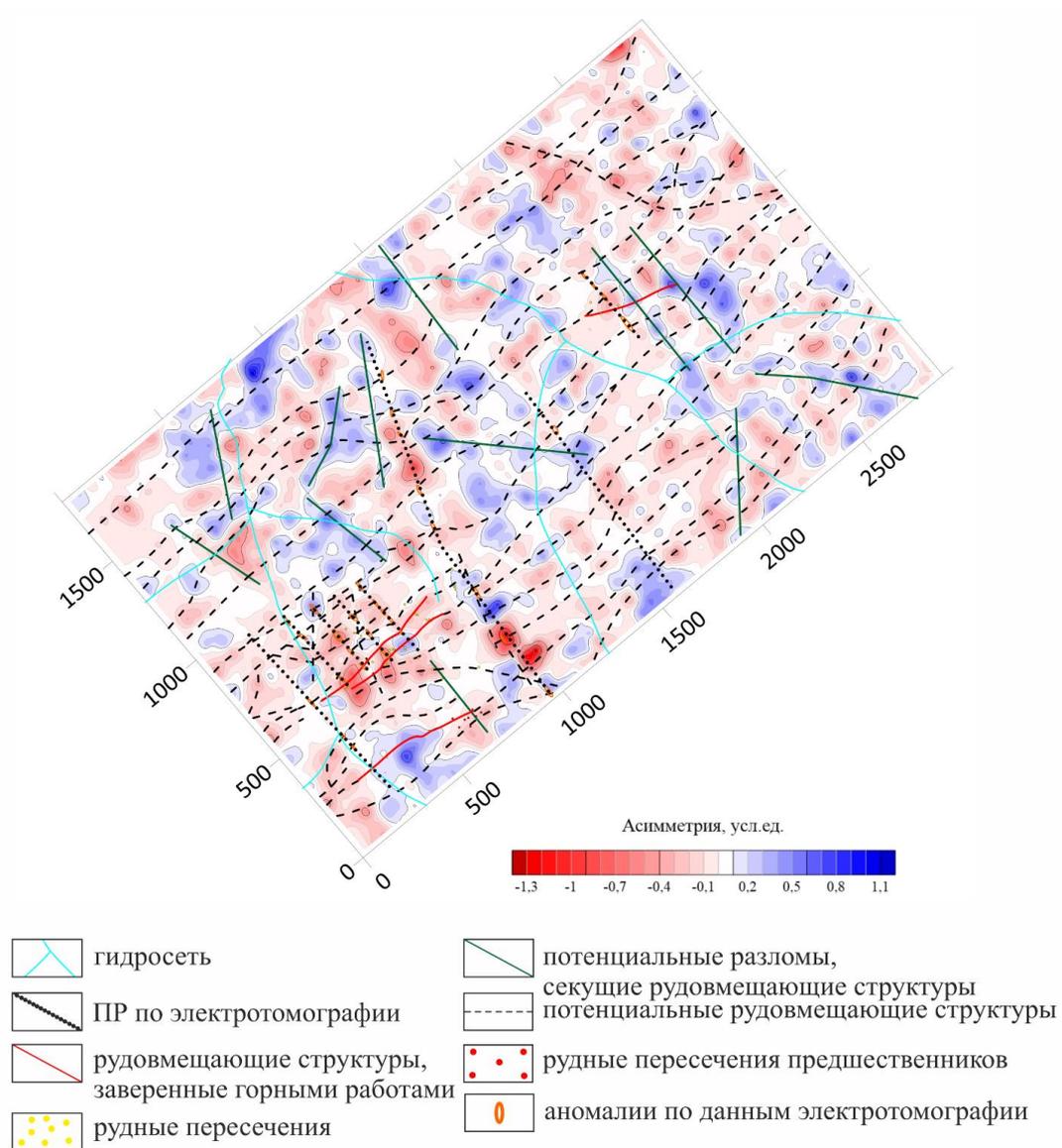


Рис. 3. Результаты комплексной интерпретации геофизических данных

На втором этапе расчет статистических характеристик выполнен в программе MS Excel по первичным данным в скользящем окне 10 на 10 точек с использованием встроенных статистических функций.

Анализ полученных карт показывает, что полученные статистические характеристики в меньшей степени подвержены шумовой компоненте, и, следовательно, информативность данных возрастает, что позволяет более обосновано провести качественную интерпретацию (рис. 1,2).

В результате комплексной качественной интерпретации полученных карт построена тектоническая схема площади и определены перспективные участки (рис. 5). Тектонические нарушения, выделенные в ходе

комплексной интерпретации, согласуются с результатами электротомографии.

Достоверность полученных результатов подтверждает тот факт, что на итоговой тектонической схеме находят отражение рудовмещающие структуры, расположенные в юго-западной части площади, которые были заверены горно-геологическими работами (рис. 3).

Автор выражает благодарность профессору Муравиной Ольге Михайловне за консультации по теме исследования.

## **ЛИТЕРАТУРА**

Амузинский, В.А. Природная амальгама серебра рудопроявления Хачакчанское / В.А. Амузинский, Н.Г. Андрианов, Ю.Я. Жданов, Н.В. Лескова // Редкие самородные металлы и интерметаллиды коренных и россыпных месторождений Якутии. - Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. - С. 64-69.

Глазнев, В.Н. Интерпретация данных магнитометрии. Электронный учебный курс / В.Н. Глазнев // Электронный университет ВГУ, 2017. <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2635>.

Кокин, А.В. Региональная геохимия (Южное Верхоянье) / А.В. Кокин, В.И. Сухоруков, П.Р. Шишигин. - Ростов-на-Дону: Ростиздат, 1999. - 426 с.

Костин, А.В. Особенности серебряной минерализации Нижнеимнеканского и Аллара-Сахского рудных узлов (Восточная Якутия) / А.В. Костин, А.Е. Окунев, Г.В. Денисов, Л.В. Осипов // Отечественная геология. - 2011. - № 5. С. 3 – 11.

Никитин, А.А. Возможности интерпретационной обработки геолого-геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода в компьютерной технологии «КОСКАД 3D 2021» / А.А. Никитин, А.В. Петров // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Материалы 48-й сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского - В.Н. Страхова. - С.-Пб: ВСЕГЕИ, 2022. - С. 196 - 199.

Никитин, А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. Учебное пособие / А.А. Никитин, А.В. Петров. – М., 2017. - 127 с.

Петров, А.В. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД-3D» / А.В. Петров, Д.Б. Юдин, Хоу Соели // Науки о Земле, 2010. - № 2. - С. 126–132.

Петров, А.В. Адаптивные процедуры интерпретационной обработки нестационарных геополей в компьютерной технологии «КОСКАД-3D» /

А.В. Петров // Международная научно-практическая конференция. – М., 2018. - С. 418–420.

Порунов, А.Н. МАТНСАД в руках экономиста. Бокс-Кокс преобразование и иллюзия «нормальности» макроэкономического / А.Н. Порунов // Бизнес-информатика. – 2010. – № 2. – С. 3-10.

<http://www.coscad3d.ru>.

<http://www.codecamp.ru/blog/box-cox-transformation-excel>.

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ**

Харин А.Ю., Агаркова М.А., студенты 3 курса бакалавриата ВГУ

Развитые в настоящее время аналитические методы решения задач электроразведки используют аппроксимацию среды некоторыми каноническими элементами, что существенно упрощают исследуемые объекты и не позволяют однозначно и с высокой точностью решать реальные геологические и инженерные задачи. Поэтому и до сих пор актуальной задачей является развитие методов физического моделирования, которые в совокупности с аналитическими методами позволяют изучать сложные реалистичные модели геологических сред (Якубовский и др, 1991).

Одной из важных задач такого комплексного моделирования является развитие методов изучения трехмерных неоднородных анизотропных объектов. Для исследования таких сред необходим выбор системы наблюдения, позволяющей проводить измерения с высокой точностью для конкретных моделей изотропных сред. Именно это и послужило основанием для создания установки физического моделирования задач электроразведки в сложных средах (Бакумцев, 2017).

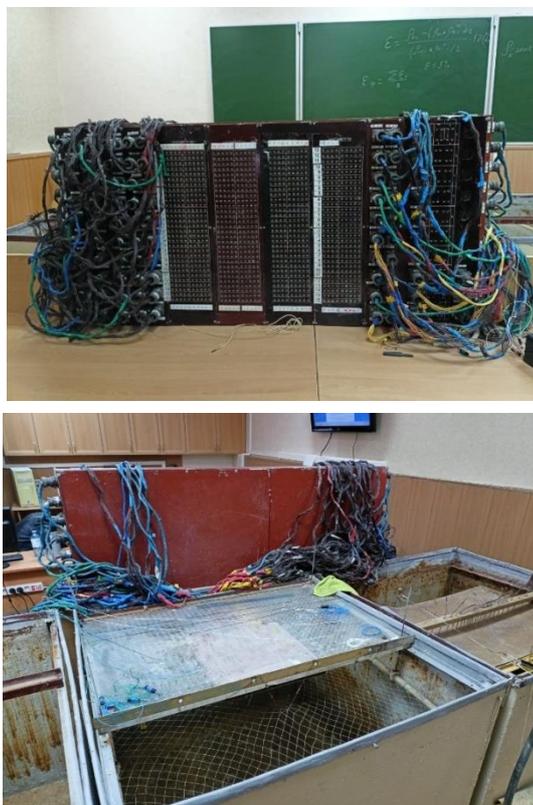
Основной задачей такой установки является использование физического моделирования при изучении особенностей реализации электротомографии для анизотропных сред. С целью исследования высокоомного объекта в низкоомной среде, было проведено физическое моделирование результатов электроразведки методами срединного градиента (СГ) и вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Эти методы широко применяются при решении задач рудной и инженерной геофизики на участках со сложным геоэлектрическим разрезом (Бакумцев и др. 2017; Глазнев и др., 2011, 2011а, 2017; Жаворонкин и др., 2015).

Для проведения эксперимента использовалась установка, которая позволяет изучать трёхмерные объекты, располагающиеся в однородной среде (рис. 1).

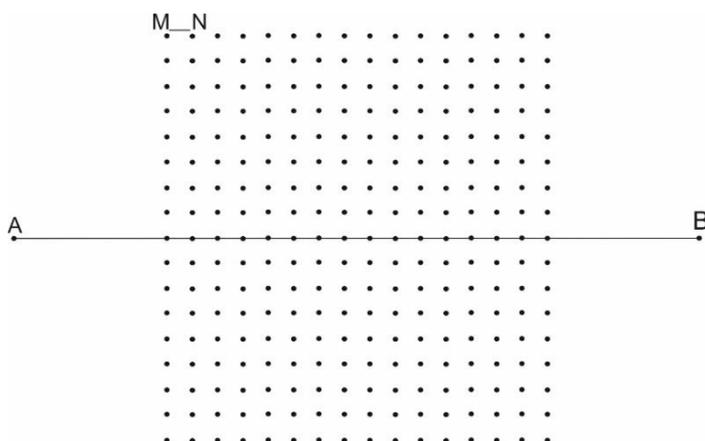
В качестве электродов применялись латунные штыри диаметром 1,5 мм. Вся система электродов связана проводниками с дублирующим планшетом, находящимся на рабочем столе наблюдателя.

Моделью служила пластина из органического стекла размером 16x2x5 см, помещенная в воду. Глубина погружения верхней кромки модели составляла 7 см.

При моделировании методом СГ задавались следующие параметры установки: расстояния между питающими электродами АВ - 72 см, между приемными электродами MN -- 1 см. Сеть наблюдений 28x33 см (рис. 2).



*Рис. 1. Установка для физического моделирования*



*Рис. 2. Схема исследований*

Для проведения работ методом срединного градиента использовался аппаратный комплекс Рутил-1. По результатам проведения

электропрофилирования методом СГ построена карта аномалий кажущегося удельного электрического сопротивления (рис. 3).

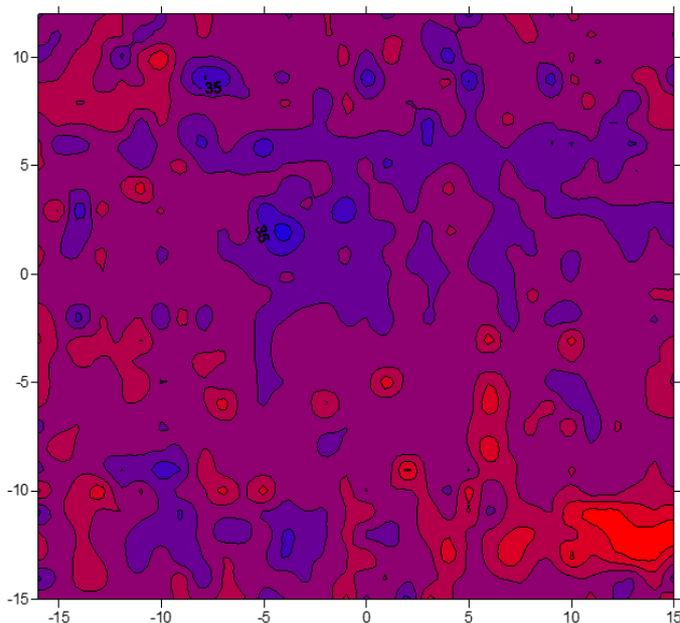


Рис. 3. Карта аномалий кажущегося удельного электрического сопротивления

Для определения глубины залегания трехмерного ограниченного объекта при моделировании использовался метод ВЭЗ. Зондирования над трехмерным объектом были выполнены в 3 точках. ВЭЗ 0 располагался над центром объекта, ВЭЗ 1 и ВЭЗ 2 были отнесены на 1 см от центра объекта в обе стороны. Из-за небольших амплитуд значений кажущегося сопротивления для построения графиков использовался линейный масштаб. На графиках кажущегося электрического сопротивления достаточно хорошо проявляется объект на всех трех точках (рис 4).

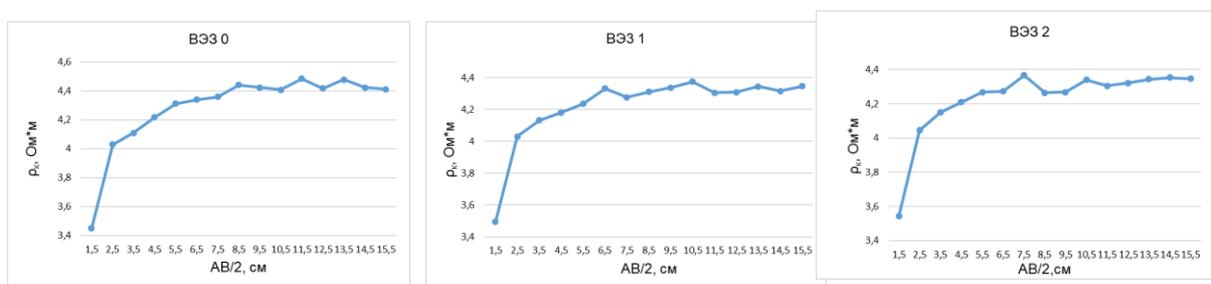


Рис. 4. Графики кажущегося электрического сопротивления для точек ВЭЗ 0, ВЭЗ 1, ВЭЗ 2

Таким образом, ВЭЗ, выполненный над объектом, показал, что при прохождении питающего электрода над телом, фиксируется высокоомная аномалия кажущегося сопротивления.

Выполненные результаты физического моделирования позволяют сделать вывод, что в примененной методике наблюдения метод СГ позволил достаточно хорошо оконтурить объект, а метод ВЭЗ примерно определить глубину залегания высокоомного объекта.

Авторы выражают благодарность доценту кафедры геофизики В.Н. Груздеву за постановку задачи исследования и полезное обсуждение результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

Бакумцев, А.А. Оптимизация методики электроразведки методом срединного градиента при изучении археологических объектов / А.А. Бакумцев // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия Геология. – 2017. - № 1. – С.115-118.

Бакумцев, А.А. Результаты физического моделирования электроразведки методами срединного градиента и вертикального электрического зондирования / А.А. Бакумцев, В.Н. Груздев, Н.И. Рассказчикова // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия Геология. – 2017. - № 3. – С.107-110.

Глазнев, В.Н. Детальный прогноз золотого оруденения по комплексу геолого-геофизических данных (Приморье, месторождение Глухое) / В.Н. Глазнев, В.И. Жаворонкин, В.Н. Груздев, И.Ю. Антонова, А.Ю. Доманин // Вопросы естествознания. - 2017. – №1 (13). – С. 44-47.

Глазнев, В.Н. Комплексные геолого-геофизические исследования при поисковых работах в условиях Северного Урала / В.Н. Глазнев, В.И. Жаворонкин, Р.А. Терентьев [и др.] // Руды и металлы. -2011. - №3-4. – С. 37-38.

Глазнев, В.Н. Эффективность геофизических методов при поисках колчеданных руд в условиях Северного Урала / В.Н. Глазнев, В.И. Жаворонкин, И.В. Притыка, Д.П. Севастьянов, П.П. Горских // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. -Екатеринбург: УрО РАН, 2011а. - С. 79-82.

Жаворонкин, В.И. Применение методов электроразведки при инженерно-геологических изысканиях в условиях северного склона Воронежской антеклизы / В.И. Жаворонкин, В.Н. Груздев, С.А. Зацепин, А.А. Бакумцев, А.Ю. Доманин // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия Геология. -2015. - № 4. - С. 128-133.

Якубовский, Ю.В. Электроразведка / Ю.В. Якубовский, И.В. Ренард. – М.: Недра, 1991. – 358с.

## ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАГМАТИТОВ НОВОГОЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА (ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ)

Харин А. Ю., студент 3 курса бакалавриата ВГУ

Интерес к габбродолеритовым массивам новогольского комплекса основан на представлениях о их перспективности на цветные и благородные металлы (Альбеков, 2002). В петрофизическом отношении планомерное исследование пород входящих в состав новогольского комплекса начато только в последние годы.

Магматические образования, относимые к новогольскому комплексу (рис. 1), локально развиты на северо-востоке Воронежского кристаллического массива (ВКМ), где они преимущественно приурочены к зоне пересечения Шумилинско-Новохоперской (субмеридианальной), Воронежско-Курской (субпараллельной) и Мичуринско-Поворинской (северо-западного заложения) региональных зон разломов (Жаворонкин и др., 1989).

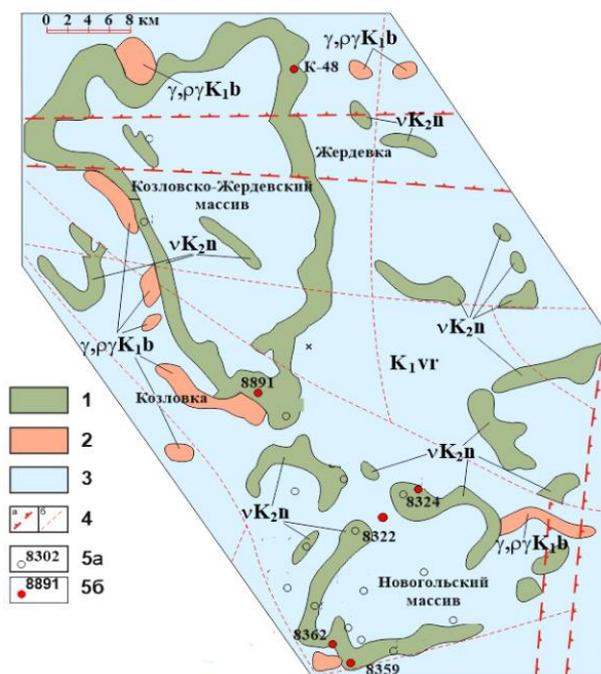


Рис. 1. Геологическая схема распространения пород новогольского комплекса: 1 – тела новогольского габбродолеритового комплекса; 2 – интрузии бобровского гранит – плагиогранитового комплекса; 3 – вмещающие породы воронцовской серии; 4 – тектонические разломы: а) первого порядка б) другие; 5 – скважины: а) вскрывшие фундамент, б) из которых исследовались образцы

В соответствии с геологическими и петрохимическими особенностями магматиты отнесены к трапповой формации (Альбеков, 2002). Образования новогольского комплекса расположены среди супракрустальных пород воронцовской серии, представляющей

флишеидное переслаивание сланцев и метапесчаников. На участках глубокого метаморфизма породы серии преобразованы в гнейсы и амфиболиты.

Породы новогольского комплекса представлены долеритами, троктолитовыми габбродолеритами, оливинowymi габбродолеритами и долерит-пегматитами. Главными и существенно преобладающими породами являются габбродолериты и троктолитовые габбродолериты (Альбеков, 2002; Ненахов, 2007).

Вторичные изменения по образцам представлены участками трещиноватости (местами интенсивной), трещины заполнены кварцем или кальцитом (рис. 2), отмечается сульфидная минерализация пород.



*Рис. 2. Вторичные изменения по габбродолеритам новогольского комплекса: изменённый темно-серый габбродолерит с развитыми по трещинам кальцитом и кварцем (обр. К-48/501,6)*

Петрофизические исследования в совокупности 660 образцов магматитов новогольского комплекса, выполнены в лаборатории ВГУ. Часть измерений (порядка 40 образцов) выполнено ранее (Жаворонкин, 2020; Жилин, 2020). В процессе исследований определены: магнитная восприимчивость, плотность и скорость прохождения продольных волн. Физические параметры измерялись и обрабатывались по стандартной методике с использованием традиционного для лаборатории петрофизики ВГУ аппаратного комплекса (Жаворонкин и др., 2017). Результаты исследований представлены в виде вариационных кривых (рис. 3), статистические характеристики сведены в таблицу.

Значения плотности (рис. 3а) изменяются в пределах от 2,65 до 3,68 г/см<sup>3</sup>, при среднем значении 2,98 г/см<sup>3</sup>. Асимметрия вариационной кривой и достаточно широкий спектр значений, с одной стороны, связаны с наличием

небольшой группы образцов с пониженной плотностью, которая определяется трещиноватостью пород и заполнением отдельных трещин кальцитом ( $2,71 \text{ г/см}^3$ ) и кварцем ( $2,60 \text{ г/см}^3$ ). Присутствие в выборке образцов с высокой плотностью объясняется наличием в них акцессорных и рудных минералов.

Характер распределения магнитной восприимчивости представлен на рис. 3б. Параметр изменяется в диапазоне от  $4,81$  до  $61,14 \cdot 10^{-3}$  ед.СИ со средним значением  $20,86 \cdot 10^{-3}$  ед.СИ и стандартным отклонением  $8,21 \cdot 10^{-3}$  ед.СИ. Наблюдаемая незначительная правая асимметрия связана с изменением содержания акцессорных железосодержащих минералов (титаномагнетит, вторичные амфиболы).

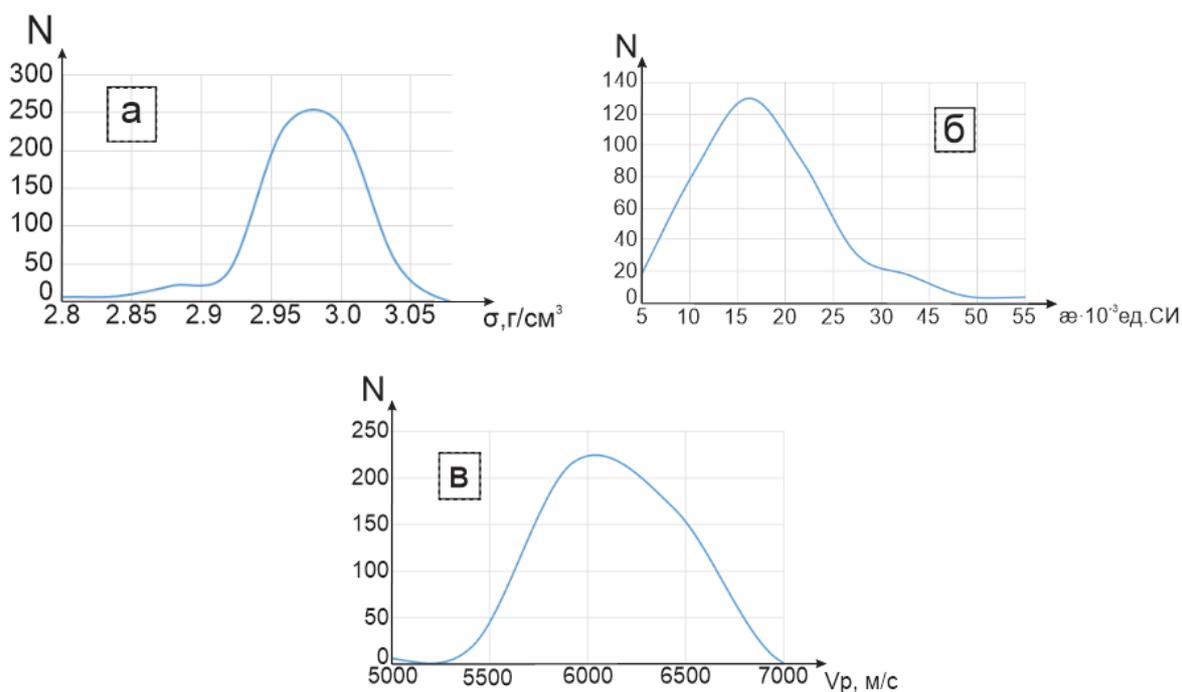


Рис.. 3. Вариационные кривые петрофизических параметров магматитов новогольского комплекса: а – плотность; б – магнитная восприимчивость; в – скорость прохождения продольных волн

Скорость продольных волн (рис. 3в) изменяется в пределах от  $4190,0$  до  $7173,9$  м/с, среднее значение составляет  $6343$  м/с, а стандартное отклонение  $350,04$  м/с. Асимметрия распределения обусловлена трещиноватостью образцов с развитием по трещинам кальцита и кварца.

В результате исследований определены и статистически обработаны петрофизические характеристики магматитов новогольского комплекса. Полученные данные могут быть использованы при решении различных геологических задач.

Таблица

Статистические характеристики габбродолеритов  
новогольского комплекса

Параметр	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Магнитная восприимчивость, n·10 <sup>-3</sup> ед.СИ	Скорость продольных волн, м/с
Среднее	2,97	18,3	6268
Медиана	2,99	17,8	6380
Мода	3,00	11,3	6154
Стандартное отклонение	0,09	9,4	541,64
Асимметричность	-1,11	1,15	-2,65
Минимум	2,56	-0,26	2321
Максимум	3,68	69,0	8517
Количество образцов	660	499	465

Автор выражает благодарность доценту кафедры геофизики В.И. Жаворонкину за постановку задачи исследования и полезное обсуждение результатов, а также доценту А.Ю. Альбекову за предоставленный керновый материал по скважинам района исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

Альбеков, А.Ю. Геология, петрология и минерагеническая оценка перспектив рудоносности габбродолеритовых массивов трапповой формации Воронежского кристаллического массива: автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. – Воронеж, 2002. – 24 с.

Жаворонкин, В.И. Петрофизические особенности магматитов новогольского комплекса (ВКМ) / Жаворонкин В.И., Жилин Е.С. - XXI Междунар. конф. «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». Материалы конференции. - М.: ИИЦ ФГБУ ИФЗ РАН, 2020. - С. 79-82.

Жаворонкин, В.И. Петрофизический облик золоторудного проявления Милоградское (Приморье) / Жаворонкин В.И., Кулешов А.В - XVIII Международная конференция «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». Материалы конференции. – М.: ИИЦ ФГБУ ИФЗ РАН, 2017. – С. 101-104.

Жаворонкин, В.И. Роль разломов в формировании эндогенного оруденения на территории Воронежского кристаллического массива / В.И. Жаворонкин, В.Л. Бочаров, Е.Б. Серебряков // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. - 1989. - № 10. - С. 24-29.

Жилин, Е.С. Петрофизические свойства габбродолеритов новогольского интрузивного комплекса (ВКМ) / Жилин Е.С. // Результаты

геофизических исследований: методика и интерпретация – Воронеж: Научная книга, 2020. - С. 24-28.

Ильин, В.В. Новые данные о физических свойствах магматитов новогольского комплекса / В.В. Ильин, А.Ю. Харин // Геофизические и петрофизические исследования: методика и интерпретация данных. - Воронеж: Научная книга, 2022. - С. 44-47.

Ненахов, В.М. Минерагенические исследования территорий с двухъярусным строением (на примере Воронежского кристаллического массива) / В.М. Ненахов [и др.]. – М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2007. – 284 с.

## **ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ХОПЕРСКОГО МЕГАБЛОКА (ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ)**

Чуева А.С., студентка 4 курса бакалавриата, ВГУ

Работа посвящена оценке достоверности петрофизической модели Хоперского мегаблока Воронежского кристаллического массива (ВКМ). Модель представляет собой ГИС-проект и состоит из петроплотностной и петромагнитной карт, которые соотнесены с геологической картой масштаба 1:500 000. Организация петрофизической модели в формате ГИС-проекта обеспечивает сохранность и доступ к первичным данным, а также при необходимости позволяет дополнить проект новой пространственно привязанной информацией. Петрофизические карты сформированы на основе информации пространственной базы петрофизических данных, аккумулирующей результаты многолетних петрофизических определений керна около 500 скважин, локализованных в пределах ВКМ (Глазнев и др., 2020; Муравина и др., 2020). Скважины расположены неравномерно, большинство из них приурочено к зонам развития железистых кварцитов. В пределах Хоперского мегаблока в базе есть данные по 84 скважинам, которые включают 1591 определение плотности, 1526 определений намагниченности и 1489 определений остаточной намагниченности.



*Рис. 1. Схема расположения скважин (Глазнев и др., 2020)*

Методика формирования петрофизических карт подробно описана в работах преподавателей и студентов, участвующих в их создании (Глазнев и др., 2020; Муравина и др., 2019; Муравина и др., 2020). Суть ее заключается в следующем. Геологическая основа петрофизических моделей представляет собой совокупность полигонов, каждый из которых отнесен к определенной возрастной группе пород. Причем возрастная группа может быть представлена как единичным числом полигонов, так и десятками. В базе данных, помимо возраста пород, содержится информация о литологии, которая в пределах одной возрастной группы для разных полигонов может отличаться. При создании петрофизических моделей формируются и статистически анализируются выборки данных первого уровня, в которых собрана информация о петрофизике пород определенной возрастной группы по всем полигонам и выборки второго уровня, сформированные для каждого полигона, подсеченного скважинами. Полигонам, в которых есть скважины, присваивается осредненное значение петрофизического параметра по данным этих скважин, а полигоны, в которых скважины отсутствуют получают осредненное значение петрофизического параметра по результатам анализа выборок первого уровня.

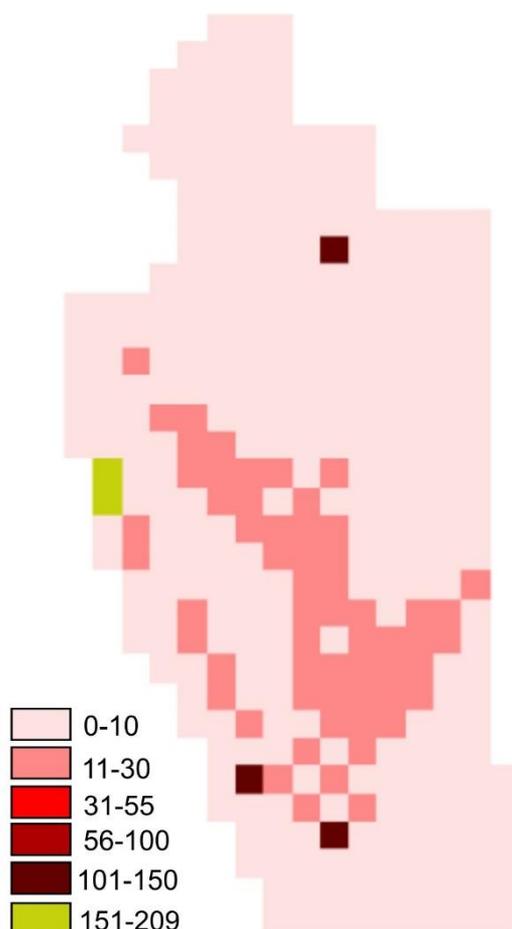
Очевидно, что из-за неравномерности пространственного распределения данных по объему первичной информации петрофизическая карта имеет разную степень достоверности в разных точках. Сведения о достоверности петрофизических карт необходимы для их эффективного использования в процедурах интерпретации геофизических полей, особенно, при решении обратных задач при наложении априорных ограничений на решение (Глазнев и др., 2016; Глазнев и др., 2011).

Организация петрофизических данных в формате ГИС-проекта в программе ArcView сделала возможным разработать методику формирования схем достоверности петрофизических данных, основанную на использовании средств пространственного анализа, реализованных в модуле Spatial Analyst.

На первом шаге были собраны данные о объемах выборок второго уровня для каждого полигона. Полигонам, в которых нет скважин были присвоены нулевые значения. По полученным данным сформирована карта, отражающая объемы выборок второго уровня для каждого полигона. Поскольку площадь полигонов изменяется в широких пределах, на следующем шаге эта карта была преобразована в грид-схему: площадь исследования была разбита на ячейки заданного размера, в каждой из которых осреднялось значение анализируемого параметра. В качестве ячеек были использованы квадраты со стороной 5 км, 10 км и 15 км.

В результате пространственного анализа петрофизических данных пород Хоперского мегаблока были получены грид-схемы разной степени детальности следующих петрофизических параметров: плотности,

магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности, скорости распространения продольных упругих волн и поляризуемости. На рис. 2 представлена грид-схема достоверности оценок плотности горных пород, наиболее полно представленной в петрофизической базе данных.



*Рис. 2. Грид-схема достоверности оценки плотности пород Хоперского блока ВКМ при размере ячеек 10x10 км. Цифры на шкале соответствуют количеству анализируемых данных*

Таким образом, в результате выполненных исследований получена новая информация, позволяющая оценить степень информативности петрофизических данных, относящихся к Хоперскому мегаблоку ВКМ.

Грид-схемы достоверности петрофизических данных могут быть использованы при решении обратных задач геофизики, например, при формировании минимаксных ограничений на решение.

Автор выражает благодарность профессору кафедры геофизики О.М. Муравиной за постановку задачи исследования и полезное обсуждение результатов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

Глазнев, В.Н. Петроплотностная карта докембрийского фундамента Воронежского кристаллического массива (объяснительная записка) /

В.Н. Глазнев, О.М. Муравина, В.И. Жаворонкин, Лебедев И.П., Воронова Т.А. - Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга», 2020. – 101 с.

Глазнев, В.Н. Плотностное моделирование центральной части Восточно-Европейской платформы / В.Н. Глазнев, М.В. Минц, О.М. Муравина // Вестник КРАУНЦ. – Сер. Науки о Земле. – 2016. – Вып. 29. – С. 53-63.

Глазнев, В.Н. Комплексные геолого-геофизические исследования при поисковых работах в условиях Северного Урала / В.Н. Глазнев, Р.А. Терентьев, В.И. Жаворонкин, П.В. Кораблинов, И.В. Притыка // Руды и металлы. - 2011. – № 3-4. – С. 37-38.

Муравина, О.М. Петроплотностная карта докембрийского фундамента Воронежского кристаллического массива / О.М. Муравина, В.И. Жаворонкин // Вестник Воронежского госуниверситета. Сер. Геология. – 2020. – №4. – С.81-86.

Муравина, О.М. Комплексная петрофизическая модель Хоперского мегаблока Воронежского кристаллического массива / О.М. Муравина, В.Н. Глазнев, М.В. Долганова // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Материалы 47-й сессии Международного научного семинара Д. Г. Успенского - В. Н. Страхова. - Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга», 2020. - С. 213-215.

Муравина, О.М. Методика формирования петромагнитной модели Хоперского мегаблока Воронежского кристаллического массива / О.М. Муравина, М.В. Долганова // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. Материалы конференции. - М.: ИГЕМ РАН, 2019. – С. 252-254.