

УДК 553.411:550.312:550.380

DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-1-118-134

## Геофизические характеристики месторождения золота Белая Гора (Хабаровский край)

М. Ю. Носырев, А. Ю. Юрчук

Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, 680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65, e-mail: ns041ck@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.06.2021 г., принята к печати 03.09.2021 г.

**Объект исследования.** В пределах Белогорского золоторудного поля и месторождения золота Белая гора выполнено изучение геофизических полей и физических свойств гидротермально измененных пород и руд. **Материалы и методы.** В рассмотрение были вовлечены данные по магнитному полю, распределению электрического сопротивления и поляризуемости, полученные по результатам наземных съемок, а также результаты изучения магнитной восприимчивости, кажущегося электрического сопротивления и поляризуемости образцов из канав и керна скважин. Выполнен анализ пространственного соотношения особенностей геофизических полей и золотой минерализации. Проанализированы особенности физических свойств пород в зависимости от интенсивности и типа наложенных гидротермальных изменений и содержаний золота. **Результаты.** Показано существенное уменьшение магнитной восприимчивости для всех измененных пород рудного поля. Отмечено различие электрического сопротивления и поляризуемости для гидротермально измененных пород рудного этапа и рудоносных метасоматитов. Первые при относительно повышенном электрическом сопротивлении обладают максимально высокой (в пределах рудного поля) поляризуемостью, вторые характеризуются еще более высоким сопротивлением, но поляризуемость при этом существенно уменьшается, оставаясь слабо повышенной относительно неизмененных пород. Эти закономерности определяют и геофизические характеристики рудного поля и месторождения. Золоторудное поле характеризуется существенным понижением интенсивности магнитного поля, площадной аномалией повышенной поляризуемости и в целом повышенным кажущимся электрическим сопротивлением. На этом фоне собственно месторождение как область, охватывающая рудные тела, в целом характеризуется еще более интенсивным повышением кажущегося электрического сопротивления и относительным понижением поляризуемости на ее общем высоком фоне. **Выводы.** На основании выполненных исследований предложена геофизическая модель месторождения золота Белая Гора, которая может быть использована как эталон при проектировании геофизических работ и интерпретации геофизических данных в процессе поисков эпitherмального золотого оруденения в пределах вулканотектонических структур Нижне-Амурского региона.

**Ключевые слова:** золото, месторождение, Белая Гора, геофизическая аномалия, поляризуемость, электрическое сопротивление

## Geophysical characteristics of the Belaya Gora gold deposit (Khabarovsk Krai, Russia)

Mikhail Yu. Nosyrev, Anton Yu. Yurchuk

Institute of Tectonics and Geophysics of Far East Branch of Russian Academy of Science, 65 Kim Yu Chen st, Khabarovsk 680000, Russia, e-mail: ns041ck@yandex.ru

Received 25.06.2021, accepted 03.09.2021

**Research subject.** The geophysical fields and physical properties of altered gold-bearing rocks within the Belogorskoye ore field and the Belaya Gora gold deposit located in the Khabarovsk Krai. **Materials and methods.** Magnetic field and the distribution of electrical resistivity and polarisability obtained during land-based surveys as well as magnetic susceptibility, apparent electrical resistivity and polarisability of the samples from trenches and drilling cores have been studied. The analysis of the spatial correlation of the features of geophysical fields and gold mineralisation has been carried out. The physical properties of rocks are analysed depending on the intensity and type of superimposed hydrothermal alterations and gold content. **Results.** A significant decrease of magnetic susceptibility for all types of altered rock is indicated. Differences in electrical resistivity and polarisability are observed for hydrothermally altered rocks of the pre-ore stage and ore-bearing metasomatites. The former, with a relatively increased electrical resistance, have the highest polarisability (within the

**Для цитирования:** Носырев М.Ю., Юрчук А.Ю. (2022) Геофизические характеристики месторождения золота Белая Гора (Хабаровский край). *Литосфера*, 22(1), 118-134. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-1-118-134>

**For citation:** Nosyrev M.Yu., Yurchuk A.Yu. (2022) Geophysical characteristics of the Belaya Gora gold deposit (Khabarovsk Krai, Russia). *Lithosphere (Russia)*, 22(1), 118-134. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-1-118-134>

© М.Ю. Носырев, А.Ю. Юрчук, 2022

ore field), while the latter are characterised by an even higher resistance, but with the significant decrease in polarisability, which remains slightly elevated relative to unaltered rocks. These patterns also determine the geophysical characteristics of the ore field and deposit. The gold ore field is characterised by a significant decrease in the magnetic field intensity, an areal anomaly of increased polarisability, and, in general, an increased apparent electrical resistance. The deposit itself, as an area covering ore bodies, is generally characterised by an even more intensive increase in apparent electrical resistivity and a relative decrease in polarisability against its generally high background. *Conclusions.* Based on the performed research, a geophysical model of the Belaya Gora gold deposit is proposed, which may be used as a reference during the planning of geophysical works and the interpretation of geophysical data during the exploration works for epithermal gold mineralisation within the volcanic-tectonic structures in the Nizhne-Amursky region.

**Keywords:** gold, Belaya Gora deposit, geophysical anomaly, polarisability, electrical resistivity

#### Acknowledgements

The authors are grateful to the management of the Belaya Gora LLC and RDM LLC for agreeing to use some of their materials, and to V.V. Kosyatov for his support during the work.

## ВВЕДЕНИЕ

Последние 10–15 лет характеризуются значительным расширением поисковых работ на золото в пределах Сихотэ-Алинского региона. Это привело к открытию ряда новых месторождений различных типов, в том числе эпитермальных в вулканогенных структурах Нижне-Амурского региона. Потенциал последних здесь далеко не исчерпан, и перспективы открытия новых месторождений золота достаточно высоки.

Также важной особенностью последних лет является возрастание роли геофизических методов в общем комплексе поисковых работ. Это связано как с появлением новых технологий геофизического изучения недр, так и с новыми возможностями обработки геофизической информации и более ясным пониманием отдельных геофизических особенностей, характерных для того или иного типа золотой минерализации. Поэтому представляется актуальным рассмотрение геофизических характеристик известных месторождений как основы для интерпретации геофизических данных при ведении поисковых работ.

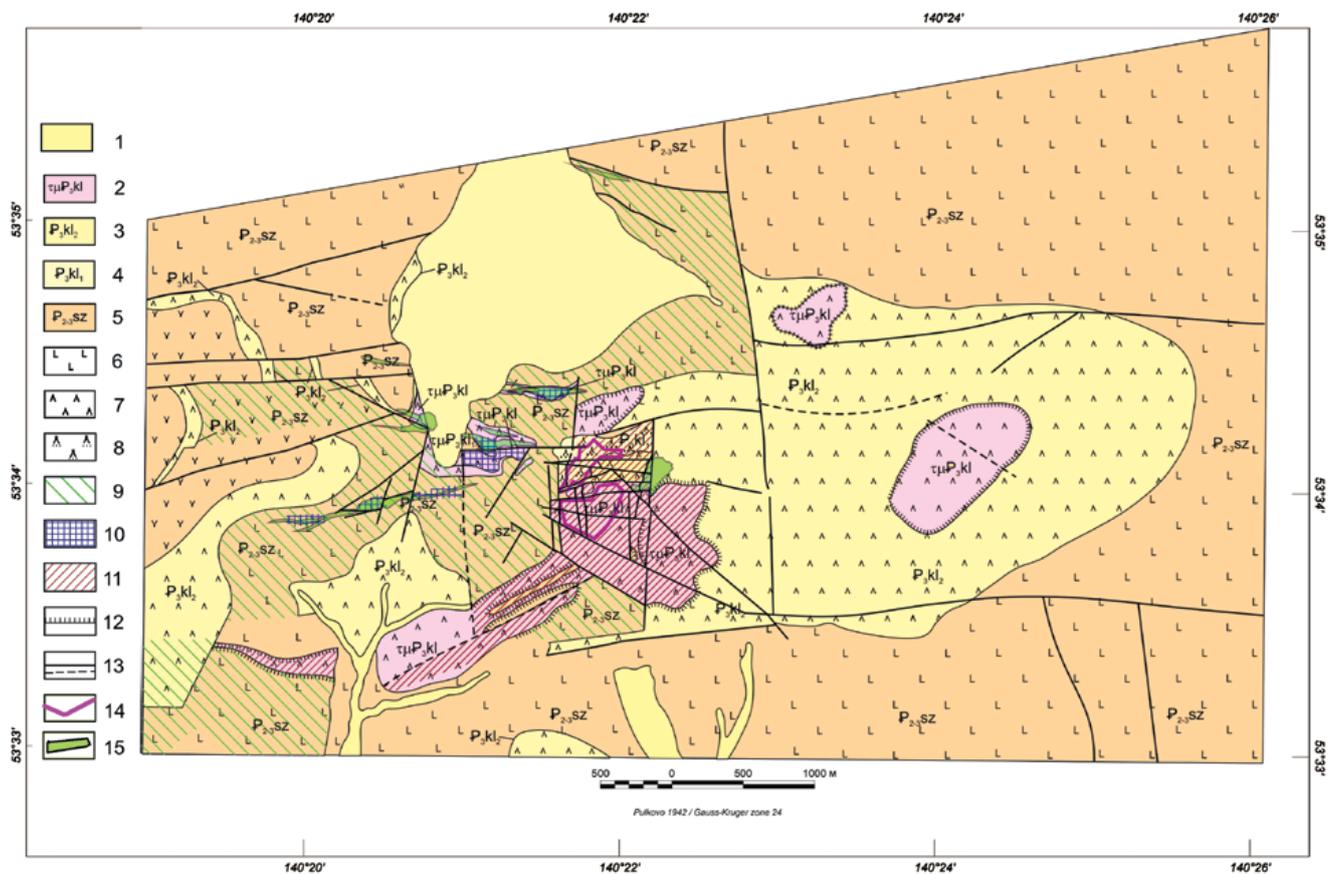
Одним их наиболее изученных геофизическими методами золоторудных эпитермальных объектов в Хабаровском крае является месторождение Белая Гора. В определенной мере оно может быть одним из эталонов при развитии работ в Нижнем Приамурье. На месторождении проводились геофизические работы как в 80-е гг. прошлого столетия, так и на новом этапе разведки и поисков в 2000-е гг. Также в последние годы получены новые данные о физических свойствах золотоносных образований и гидротермально измененных пород месторождения, которые подтверждают и объясняют геофизические аномалии рудного поля. В целом эти материалы указывают на возможность эффектив-

ного использования геофизических методов для поисков золотого оруденения и нуждаются в обобщении, дополнительной обработке и анализе для понимания подхода к интерпретации геофизических данных при проведении поисковых работ в вулканогенных структурах.

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Месторождение золота Белая Гора находится в Николаевском районе Хабаровского края в 55 км к северо-востоку от г. Николаевск-на-Амуре. Оно расположено в Нижне-Амурском золоторудном районе Прибрежной структурно-металлогенической зоны, соответствующем северному окончанию Восточно-Сихоте-Алинского вулканического пояса (Нижне-Амурская вулканическая зона) (Ван-Ван-Е и др., 1992; Моисеенко, Эйриш, 1996; Металлогения..., 2000). В пределах пояса активно проявился базальтовый вулканизм, в котором выделяются эоценовый и олигоценый этапы. Во временном промежутке между ними образованы небольшие по объему относительно кислые породы эоцен-олигоценового колчанского комплекса, который характеризуется преобладаниями экстрезивных разностей. Здесь выделяется (Михайлова, 1979) крупный вулканотектонический грабен в сводовой части куполовидного поднятия. Грабен (вулканотектоническая депрессия) ограничен субширотными и субмеридиональными нарушениями. Выполнен базальтоидами, риолитами и дацитами. Геологическая карта части грабена, где расположено месторождение Белая Гора, представлена на рис. 1.

Собственно Белогорское месторождение расположено преимущественно внутри сохранившегося вулканического некка размером 850 × 750 м, сло-



**Рис. 1.** Геологическая карта Белогорского золоторудного поля (по материалам ООО “Белая Гора”).

1 – четвертичная система; 2–8 – палеогеновая система: 2 – колчанский комплекс (дациты, взрывные брекчии смешанного состава, трахидациты); 3, 4 – колчанская свита: 3 – верхняя толща (дациты), 4 – нижняя толща (туфы смешанного состава); 5–8 – сизиманская толща: 5 – базальты, туфы базальтов, 6 – базальты, 7 – дациты, 8 – туфы смешанного состава; 9–11 – вторичные изменения: 9 – пропилитизация, 10 – окварцевание, 11 – вторичные кварциты; 12 – границы экструзивных тел; 13 – разрывные нарушения достоверные и предполагаемые; 14 – контур месторождения Белая Гора; 15 – прочие минерализованные зоны.

**Fig. 1.** Geological map of Belaya Gora gold-ore field.

1 – The Quaternary; 2–8 – Paleogene system: 2 – Kolchan complex (dacite, explosive breccia various content, trachydacitis); 3, 4 – Kolchan suite: 3 – upper part (dacite), 4 – lower part (various tuffs); 5–8 – Sizimanskaya series: 5 – basalt, basaltic tuff; 6 – basalt, 7 – dacite, 8 – various tuff; 9–11 – alterations: 9 – propylitization; 10 – silicification; 11 – secondary quartzite; 12 – boundaries of extrusion bodies; 13 – valid and inferred faults; 14 – Belaya Gora gold deposit; 15 – other mineralized zones.

женного дацитами, который обрамляют околожерловые лавовые брекчии и агломераты. Небольшая часть золотой минерализации локализуется также в покровных фациях вулканитов палеогенового возраста. Вулканиты рассматриваются в составе колчанской свиты одноименного комплекса. Кроме нека выделяются субвулканические тела с пологими кровлями и подошвой. С белогорским палеовулканом связаны покровы туфов, туффитов, дацитов, лав трахитового и трахидацитового состава, относящихся к колчанской свите и сохранившихся от размыва к востоку от нека. Перечисленные

образования располагаются в поле эоценовых базальтов и андезибазальтов сизиманской толщи. Завершают разрез базальтоиды миоценового возраста (кизинская свита).

Рудовмещающие кислые и умеренно-кислые вулканиты формировались в три этапа (Мартынов, 1978; Мартынов и др., 1985). На первом этапе образовались покровы риолитовых лав, коагматичные им экструзии и субвулканические тела; на втором – эффузивы субщелочных риодацитов и плагиориолитов; на третьем – покровы, экструзии и субвулканические интрузии андезидацитов.

Общее залегание покровных вулканогенных образований пологое, местами незначительно осложненное малоамплитудными смещениями отдельных блоков покровов и экструзий. Основные структуры рудного поля определяются первично-вулканогенными формами эффузивных комплексов.

Среди разрывных нарушений преобладают крутопадающие разломы северо-восточного простирания; в меньшей степени проявлены широтные и северо-западные нарушения. Сочленение трех указанных систем разломов определяет положение белогорского некка. Вдоль северо-восточных разломов формировались дайки трахитов и эруптивных брекчий.

Рудное поле (около 8 км<sup>2</sup>) охватывает некк и прижерловые фации вулканитов, которые интенсивно гидротермально изменены.

Золоторудная минерализация месторождения ассоциирует со штокеркообразным кварцевым прожилкованием и отчасти с маломощными не протяженными жилами, развитыми в жерловых (некк), прижерловых вулканитах и телах различных брекчий (в том числе вулканогенных). Предрудное трещинообразование в обстановке литологической неоднородности и тектонической блоковости Белогорского палеовулкана предопределило образование рудных тел без четких геологических границ, со сложной морфологией и неравномерной интенсивностью прожилкования в локальных частях постройки и в целом на глубину. В риодацитах главного некка и побочных жерловинах устанавливаются сложно взаимосвязанные штокеркообразные тела различно ориентированных прожилков, а в прижерловых вулканитах – их пологие залежеобразные участки и разнотипные брекчии с кварцевым цементом (Иванов, 1987).

Породы рудного поля интенсивно изменены гидротермальными процессами. В соответствии с существующими представлениями (Мельникова, Мельников, 1969; Мельников, Мельникова, 1970; Мельникова, 1976; Иванов, 1978, 1987; Гуменюк, 1987; Мишин, 1999; Мишин, Бердников, 2010), гидротермально измененные породы Белогорского золоторудного поля можно объединить в три большие группы, отвечающие трем стадиям гидротермального процесса.

Первая стадия – предрудная, кислотного выщелачивания – привела к образованию пропицитов карбонат-хлоритового состава по базальтам и андезибазальтам сизиманской толщи. Пропициты интенсивно пиритизированы. Эта стадия также характеризуется образованием вторичных кварцитов, которые не содержат золота (Мишин 1999; Мишин Бердников, 2010). Температура декрипитации включений в кварце этого этапа равна 380–420 °С. Золото в рудах указанной стадии тонкодисперсное и мелкое (0.01–0.10 мм), встречается в виде нерав-

номерной вкрапленности. По Л.Ф. Мишину (1999), вторичные кварциты этого этапа являлись экраном для последующих рудоносных растворов.

Вторая стадия – продуктивная, сульфидно-золото-кварцевая – представлена кварцем с золотом, пиритом, серебром и минералами серебра – кераргиритом и аргентитом. Температура гомогенизации включений в кварце колеблется в широком интервале – 395–180 °С. Золото откладывалось позже кристаллизации основной массы кварца. Жилы и прожилки минералов продуктивной стадии сопровождаются околожилными серицитизацией или березитизацией (Мельникова, Мельников, 1969; Мельников, Мельникова, 1970; Мельникова, 1976). Околорудные метасоматиты, в отличие от вторично-кварцитового шляпы, сложены калийсодержащими минералами (адуляром, гидрослюдой, серицитом, ортоклазом, биотитом) с заметным уменьшением роли кварца (Мишин, 1991; Мишин, Бердников, 2010; Моисеенко, Эйриш, 1996). По существующим представлениям, можно выделить две группы рудных гидротермалитов: кварц-серицитовые метасоматиты и разнообразные “вторичные кварциты” (каолинитовые, гидрослюдитовые и др.). Последние назывались так в соответствии с представлениями Э.П. Хохлова, их характеристика дана в сводном отчете по результатам работ на Белогорском рудном поле в 1976–1982 гг. Он выделял серицит-адуляровую, гидрослюдисто-серицитовую, диккитовую, монокварцевую фации. В более поздних работах (2010–2015 гг.) эти породы также назывались “вторичные кварциты” с различным соотношением кварца, адуляра, каолинита, гидрослуд.

Содержание сульфидов в рудах, среди которых более 99% приходится на пирит, составляет около 0.7–1.0%. Помимо пирита в рудах отмечены зерна халькопирита, сфалерита и галенита. Содержание серы не превышает 0.6%. Все это позволяет отнести руды к убогосульфидному типу.

Для большинства месторождений рудный процесс является завершающей стадией развития гидротермальной системы, который сдвинут по времени и накладывается на продукты ранней, объемной метасоматической стадии. Рудный процесс более локализован в пространстве и проходит при участии преимущественно водного минерализованного флюида, большую роль в котором играют магматические растворы (Мишин 1999; Мишин Бердников, 2010).

Рядом авторов на месторождении выделяется также третья – послерудная – стадия (Мельникова, Мельников, 1969; Иванов, 1978, 1987). В этот период образовывались халцедон, мелкокристаллический или халцедоновидный кварц, карбонаты, а также прожилки мелкозернистого пирита и крупное (1–3 мм), вероятно, переотложенное золото. В пропицитизированных андезибазальтах встре-

чаются кварц-карбонатные прожилки с пиритом. Температура гомогенизации включений составляет от 240–150 до 80°C.

Стадийность гидротермального процесса подтверждается результатами изучения электрических свойств пиритов месторождения. Эти материалы приведены в отчете Геофизической экспедиции ПГО “Дальгеология” за 1984 г. (Охранчук и др., 1984). Изучение термоЭДС пиритов позволяет выделить три их типа, отвечающие двум стадиям гидротермального процесса. Первая – дорудная – характеризуется образованием продуктов площадного гидротермального изменения – пропицитов – и вторичных кварцитов с пиритом п-типа. Вторая стадия – рудная – соответствует образованию золотоносных минеральных ассоциаций и характеризуется развитием пирита р-типа, который делится на две подгруппы с различными значениями термоЭДС. На основании имеющихся данных мы не можем с уверенностью связать эти подгруппы с какими-либо минеральными ассоциациями, но наличие пиритов дорудного и рудного этапов этими данными подтверждается уверенно. По крайней мере, определено установлено, что пирит первой дорудной стадии по типу проводимости является пиритом п-типа, тогда как пирит в минеральных ассоциациях второй и третьей стадий – пиритом р-типа. Согласно существующим представлениям, проводимость п-типа характерна для пиритов, образовавшихся в более высокотемпературных условиях (Пшеничкин, 1977).

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В статье выполнен анализ как физических свойств горных пород, изученных на образцах керна скважин и образцах с поверхности, так и данных различных геофизических методов, реализованных в разные годы на месторождении Белая Гора.

Физические свойства пород района этого месторождения изучались на протяжении 60 лет при геолого-съемочных и поисково-разведочных работах. Далее использованы результаты двух этапов работ: данные из отчета Геофизической экспедиции ПГО “Дальгеология” (Охранчук и др., 1984) и данные специального изучения физических свойств руд и гидротермально измененных пород, выполненного нами в 2018 г.

В 1979–1984 гг. петрофизические параметры были получены как по измерению образцов керна скважин и поверхности, так и по данным электрокаротажа (зонд А0.5М2N). Магнитную восприимчивость и остаточную намагниченность пород определяли на приборах ИМВ-2 и МА-21 соответственно. Поляризуемость образцов изучали с помощью четырехэлектродной установки на предварительно замоченных на 3 суток образцах.

В 2018 г. измерения геоэлектрических параметров образцов керна проводили четырехэлектродной установкой  $AM = MN = NB = 15$  мм, электро-разведочным комплектом аппаратуры в составе измерителя ELREC Lite и генератора IP-L для лабораторных измерений электрического сопротивления и вызванной поляризации компании IRIS Instruments ([www.iris-instruments.com](http://www.iris-instruments.com)).

Эффект вызванной поляризации исследовали во временном режиме. Форма первичного сигнала – разнополярный прямоугольный импульс через паузу той же длительности. В качестве меры, характеризующей степень поляризуемости образцов керна, использовалась заряжаемость (chargeability), измеряемая в мВ/В. Погрешность измерений геоэлектрических параметров не более 4%.

В отличие от предыдущих исследований в 2018 г. изучено много золотоносных образцов, что позволило дополнительно обозначить особенности распределения физических параметров в связи с содержаниями золота. В настоящей статье все эти данные переобработаны и сгруппированы в соответствии с изложенными представлениями о породах и метасоматитах Белогорского рудного поля.

Месторождение золота Белая Гора неплохо изучено разнообразными геофизическими методами. В 80-е гг. прошлого века здесь выполнены площадные работы масштаба 1 : 10 000: магниторазведка по сети 100 × 10 м, метод срединного градиента в модификации вызванной поляризации (СГ-ВП) по сети 100 × 20 м при длине приемной линии 40 м. В качестве генератора использовалась генераторная группа станции ВПС-63, измеритель ВПС-63. Режим измерений: 1 мин зарядки, через 0.5 с – измерение. Эти данные нами оцифрованы и на этой основе построены новые карты. Некоторые из них с соответствующим указанием источника использованы в настоящей работе. Также в эти годы пройдены профили вертикального электрического зондирования с измерением вызванной поляризации (ВЭЗ-ВП). При этом применялся измеритель ЭВП-601. Режим измерений импульсный, 12 с зарядки, 24 с – пауза. В 2000-е гг. дополнительно сделаны профили электрического зондирования с трехэлектродной установкой типа  $AMN_{\infty}$  с размером диполя  $MN = 50$  м и шагом изменения расстояния  $AM = 50$  м при общем количестве разносов, равном 10. Это обеспечило изучение разреза до глубины 300 м. При работах задействованы аппаратура компании IRIS Instruments, генератор VIP-5000 и измеритель ErlecPro, режим измерений – разнополярные импульсы длительностью 2 с. Также реализован метод СГ-ВП по более редкой сети (200 × 40 м) для подтверждения и более точной локализации электроразведочных аномалий. Использовалась аппаратура “Мэри”, режим измерений – 2-секундные разнополярные импульсы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Петрофизическая характеристика пород Белогорского рудного поля

В целом опыт использования петрофизики при поисках и оценке рудных месторождений различного типа и генезиса можно рассматривать в рамках двух подходов (Носырев, 1993):

1) петрофизическое обеспечение интерпретации геофизических данных;

2) использование собственно петрофизических данных для решения самостоятельных геологических задач.

В обоих случаях речь идет о выявлении и изучении петрофизических неоднородностей части геологического пространства. Однако в первом случае используются дистанционные геофизические методы, исследуются физические поля геологических образований в естественном залегании, а контактные методы, т. е. собственно изучение образцов горных пород, служит основой интерпретации геофизических полей, идентификации геологической природы геофизических аномалий. Во втором случае речь идет о применении данных, полученных непосредственно контактным способом. Необходимость второго подхода определяется группой задач, которые принципиально не могут быть решены дистанционными методами. Иными словами, существуют такие петрофизические неоднородности геологических объектов, которые не могут быть выявлены по результатам измерения физических полей. Причин этого достаточно: относительно малое различие в физических свойствах, глубина залегания петрофизических неоднородностей, во многих ситуациях практическая невозможность выделения из общего геофизического поля составляющих, связанных с представляющими интерес объектами. Кроме того, имеется ряд информативных петрофизических характеристик, которые вообще не могут быть измерены иначе чем контактным способом.

Исследование физических свойств пород Белогорского рудного поля выполнено в основном для решения первой рассмотренной задачи (обеспечение интерпретации), правильного понимания и подтверждения природы физических неоднородностей, выделяемых дистанционными методами. Также имеющийся материал позволил наметить особенности физических свойств пород, которые, возможно, и не могут быть выявлены наземными методами, но дают важную информацию для понимания общей схемы изменения физических свойств пород при формировании месторождения и особенностей золотоносных образований. Сводные данные по физическим свойствам пород приведены в табл. 1.

Характеристика неизменных пород очевидна. Для базальтов главными особенностями являются

высокая магнитная восприимчивость, средняя или слабоповышенная поляризуемость (5.0–5.5%) и пониженное электрическое сопротивление. Данные по неизменным породам колчанской свиты и соответствующего комплекса за пределами рудного поля взяты из работы (Физические свойства..., 1987) и характеризуют только плотность и магнитные параметры.

Гидротермально измененные породы сильно отличаются по физическим свойствам от неизменных. В соответствии с рассмотренными представлениями, далее все они для анализа физических свойств разбиты на две группы: гидротермально измененные породы дорудного этапа (пропилитизированные и пиритизированные базальты) и гидротермально измененные породы рудного этапа.

Прежде всего, отметим, что для всех гидротермально измененных пород рудного поля наблюдается значительное снижение магнитной восприимчивости. Это вывод не новый и рассматривался ранее (Охранчук и др., 1984). Однако далее показано, что в зависимости от типа гидротермальных изменений также отмечается слабая дифференциация магнитной восприимчивости. По остальным петрофизическим параметрам особенностью первой группы является повышенная поляризуемость пород при низком электрическом сопротивлении.

Изученные гидротермально измененные золотоносные породы рудного этапа устойчиво по всем параметрам делятся на три подгруппы. Первая далее называется кварц-золото-сульфидными гидротермалитами. Сюда вошли все золотосодержащие образцы, которые по визуальному определению исполнителей работ характеризовались как “вторичные кварциты” с различным соотношением кварца, адуляра, каолинита, гидрослюд. Эти породы в сводном отчете по результатам работ на Белогорском рудном поле в 1976–1982 гг. Э.П. Хохлов именовал так же (Хохлов, 1983). Мы не нашли оснований разделять их более подробно, исходя из значительной близости физических свойств по разным группам. Они характеризуются повышенным электрическим сопротивлением, относительно невысокой, близкой к фоновой, поляризуемостью, очень низкой магнитной восприимчивостью. Повышенное содержание кварца в данных гидротермально измененных породах объясняет все эти параметры. Данные образцы характеризуют главное рудное тело месторождения Штокверк.

Одновременно выделяется другая группа золотоносных образований, определенная визуально как кварц-серицитовые метасоматиты. Они обладают более низким электрическим сопротивлением, аномально высокой поляризуемостью и низкой (см. табл. 1), но относительно повышенной (на  $48 \times 10^{-5}$  ед. СИ) против гидротермально измененных пород первой группы магнитной восприимчивостью. Слабое, но устойчивое повышение магнит-

Таблица 1. Электрические и магнитные свойства горных пород Белогорского золоторудного поля  
Table 1. Electrical and magnetic properties of Belaya Gora gold field

Описание породы	Место отбора	Электрическое сопротивление, Ом·м			Электрическая поляризуемость			Магнитная восприимчивость		Содержание золота, г/т
		n	Каротаж	Обр.	n	%	мВ/В	n	10 <sup>-5</sup> СИ	
Неизменные породы, за пределами рудного поля, на флангах										
<b>1. Сизиманская свита</b>										
Базальты плотные	Скв.	27		257	27		4.7			0.08
Базальты пористые	Скв.	16		139	16		6.9			
Базальты плотные	Скв.	340	230							
Базальты пористые	Скв.	310	40							
Среднее базальты	Пов.							415	932	
<b>2. Колчанская свита</b> дациты, дацилипариты, туфы	Пов.							1050	375	
<b>3. Колчанский комплекс</b> дациты	Пов.							61	643	
Гидротермально измененные породы, прерудная стадия										
Базальты, андезибазальты пропилитизированные с сульфидами	Скв.				386	14				
	Скв.	20		150	20		9.98	20	23	0.37
Гидротермально измененные породы, рудная стадия										
Сульфидно-золото-кварцевые	Скв.	224		316	224		4.48	224	4	1.34
	Скв.	430	740		95	6.5				
Брекчии	Скв.	14		435	14		3.6			0.116
Кварц-серицитовые с сульфидами сульфидами	Скв.	78		208	78		11.2	78	52	1.05
Метасоматиты каолин- гидрослюдистые по туфам смешанного состава (залежь Пологая)	Скв.	35		217	35		7.0	35	24	1.12
Дациты гидротермально измененные, рудная, пострудная (?) стадии, без золота	Скв.	950	1280		111	6.5		115	5	

Примечание. Везде приведено среднее значение петрофизического параметра; n – количество образцов в выборке или точек по каротажу; скв. – данные измерений по скважине (каротаж, керн); пов. – данные по образцам с поверхности. Таблица составлена на основании авторских данных с дополнениями по (Физические..., 1987) и отчету Геофизической экспедиции ПГО “Дальгеология” (Охранчук и др., 1984 г).

Note. Everywhere the average value of the petrophysical parameter is given; n is the number of samples in the sample or log points; скв. – measurement data for the well (logging, core); пов. – data on samples from the surface. The table was compiled on the basis of the author's data with additions according to (Physical..., 1987) and the report of the Geophysical Expedition “Dalgeologia” (Okhranchuk et al., 1984).

ной восприимчивости, очевидно, связано с наличием сульфидов и уменьшением количества кварца в породе. При этом среднее содержание золота в образцах обеих групп близкое (1.3 и 1.4 г/т соответственно). В объемном отношении гидротермально измененных пород второй подгруппы гораздо меньше, чем первой. По нашим данным, они более характерны для краевой части рудного тела,

его нижних горизонтов. Возможно, здесь мы имеем дело с гидротермально измененными породами с меньшей степенью окварцевания или развитыми по другим породам. Все сказанное относится к золотосодержащим породам основного рудного тела Штокверк, развитого в пределах тела дацитов.

Третья подгруппа золотоносных гидротермально измененных пород развита по туфам смешан-

ного состава и представляет залежь Пологую, которая содержит не более 10% запасов месторождения. Их отличительной особенностью является слабо пониженное электрическое сопротивление (217 Ом·м) и слабо повышенная поляризуемость (7 мВ/В).

Помимо изначального состава и структуры пород решающую роль для их электрических свойств играют два минерала, формирующиеся при гидротермальных изменениях: кварц и пирит. Первый влияет на электрическое сопротивление и в небольшой степени – на поляризуемость (через пористость), второй – практически только на поляризуемость. Анализ, основанный на визуальном определении концентраций пирита в изученных образцах, показывает очевидную вещь – увеличение значений поляризуемости с возрастанием концентраций пирита. Так, среднее значение поляризуемости для 222 образцов, в которых визуально отмечен пирит, составляет 8.42 мВ/В, а среднее для 186 образцов, где пирит визуально не отмечен, равняется 3.82 мВ/В. Однако, по имеющимся данным какую-либо количественную зависимость установить трудно, что в первую очередь связано с визуальным определением количества пирита (рис. 2).

Можно сказать, что для пород с минимальным содержанием пирита поляризуемость также минимальна и составляет 3.78 мВ/В. В интервале концентраций пирита от первых десятых до 2% породы обладают примерно одинаковой поляризуемостью – 5.34–6.73 мВ/В. Начиная с 2.5% пирита значения поляризуемости резко возрастают, хотя линейной зависимости не наблюдается и для группы в интервале 2.5–4.4% по 69 образцам среднее равно 11.44 мВ/В. Некоторое уменьшение поляризуемости на максимальных значениях содержаний пирита (более 4.5%) связано с интенсивным окварцеванием. При этом еще раз подчеркнем, что существует несколько генераций пирита, связанных с разными этапами гидротермального изменения пород.

Электрическое сопротивление пород при отсутствии достаточного количества хорошо проводящих минералов определяется в основном их пористостью и влагонасыщенностью. Наложение окварцевания на породы резко снижает их пористость, что приводит к увеличению электрического сопротивления. Количество пирита в породах недостаточно, чтобы значимо влиять на их электрическое сопротивление. Зависимость сопротивления от количества глинистых минералов при визуальном определении последних в нашем случае не установлена.

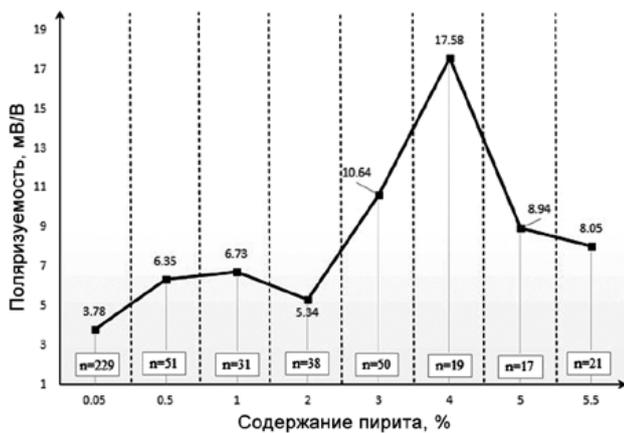
Наблюдается отчетливая прямая связь между содержанием золота в исследованных образцах и их электрическим сопротивлением. Для изучения этого вопроса выполнен расчет электрических параметров для групп образцов с определенным со-

держанием золота. График зависимости электрических параметров от содержания золота показан на рис. 3. При повышении содержания золота электрическое сопротивление возрастает, что связано с увеличением интенсивности окварцевания пород. С этим же фактором, видимо, в прямой корреляции находится и золото. При этом поведение поляризуемости своеобразно. С возрастанием содержания отмечается ее повышение от 4.66 до 10.65 мВ/В, а для образцов с максимальным содержанием золота – резкое снижение этого параметра, что также связано с интенсивным окварцеванием пород.

Таким образом, основные тенденции поведения физических свойств пород, важные для понимания физических полей, заключаются в следующем. Гидротермально измененные породы Белогорского рудного поля аномальны с точки зрения всех изученных свойств (магнитная восприимчивость, электрическое сопротивление, электрическая поляризуемость) по отношению к вмещающим породам. Аномальность физических свойств пород обусловлена наложенными гидротермальными изменениями. Значительное уменьшение магнитной восприимчивости характерно для всех гидротермально измененных разновидностей пород, тогда как в электрических свойствах наблюдается различие для гидротермалитов предрудного и рудного этапов. Оно заключается в относительном уменьшении поляризуемости и увеличении электрического сопротивления для рудоносных образцов на фоне аномально высокой поляризуемости предрудных гидротермалитов и пониженного сопротивления. Также для одной из групп гидротермально измененных пород рудного этапа очень незначительно повышается магнитная восприимчивость, но фактически это может быть значимо только для лабораторных измерений.

В целом имеющиеся результаты указывают, что собственно месторождение и рудное поле являются петрофизической аномалией и должны фиксироваться геофизическими методами.

Заканчивая рассмотрение физических свойств пород Белогорского рудного поля, необходимо затронуть вопрос так называемого масштабного эффекта, или соответствия физических свойств, измеренных в образце, и физических свойств крупных массивов пород в естественном залегании, измеренных геофизическими методами. Это наиболее актуально для электрических свойств (то же касается плотности). Макропустотность массивов горных пород, определяемая степенью их нарушенности (трещиноватостью, дроблением), и их водонасыщенность эффективно влияют на величины измеряемых электрических параметров. Однако, как правило, тенденции соотношения физических свойств пород в образцах и естественном залегании остаются неизменными, хотя их количественное соотношение может меняться.



**Рис. 2.** Зависимость поляризуемости образцов от содержания пирита.

n – количество образцов в выборке на данный интервал содержаний пирита.

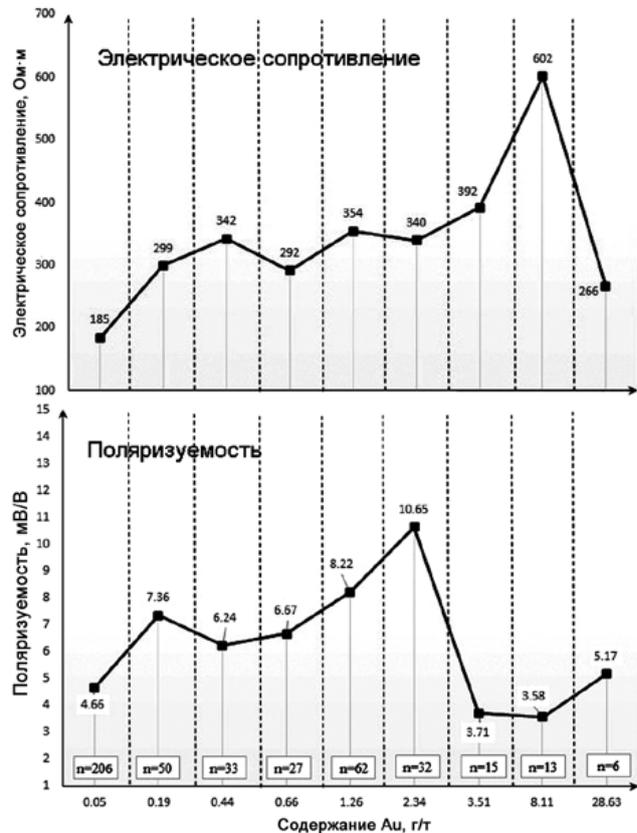
**Fig. 2.** Dependence of chargeability from pyrite concentration in samples.

n – number of samples for the interval of pyrite contents.

## Геофизическая характеристика месторождения

При рассмотрении геофизических особенностей месторождений необходимо иметь в виду два аспекта. Месторождения золота относятся к объектам, полезный компонент которых не создает прямого аномального эффекта в геофизических полях. Для таких объектов использование геофизических методов в целом укладывается в рамки двух направлений. Первое подразумевает выявление геофизическими методами некоторых геологических особенностей (разломов, контактов, геологических тел, сложенных определенными породами, морфологических особенностей геологических тел), которые могут рассматриваться как факторы, благоприятные для локализации золотой минерализации. Второе непосредственно связано с выделением потенциальных минерализованных зон по аномальным геофизическим параметрам развитых в них гидротермально измененных разностей. На практике речь чаще всего идет либо о понижении магнитной восприимчивости и, соответственно, выделении отрицательных магнитных аномалий, либо о повышении поляризуемости за счет появления сульфидных минералов, либо о своеобразном поведении электрического сопротивления.

**Магнитное поле.** Как отмечалось рядом специалистов производственных (отчеты Геофизической экспедиции ПГО «Дальгеология» по Белогорскому золоторудному полю) и научных (Володькова, 1999) организаций, рудоносному блоку (рудно-



**Рис. 3.** Зависимость поляризуемости и электрического сопротивления образцов от содержания золота.

n – количество проб в выборке на данный интервал содержания золота.

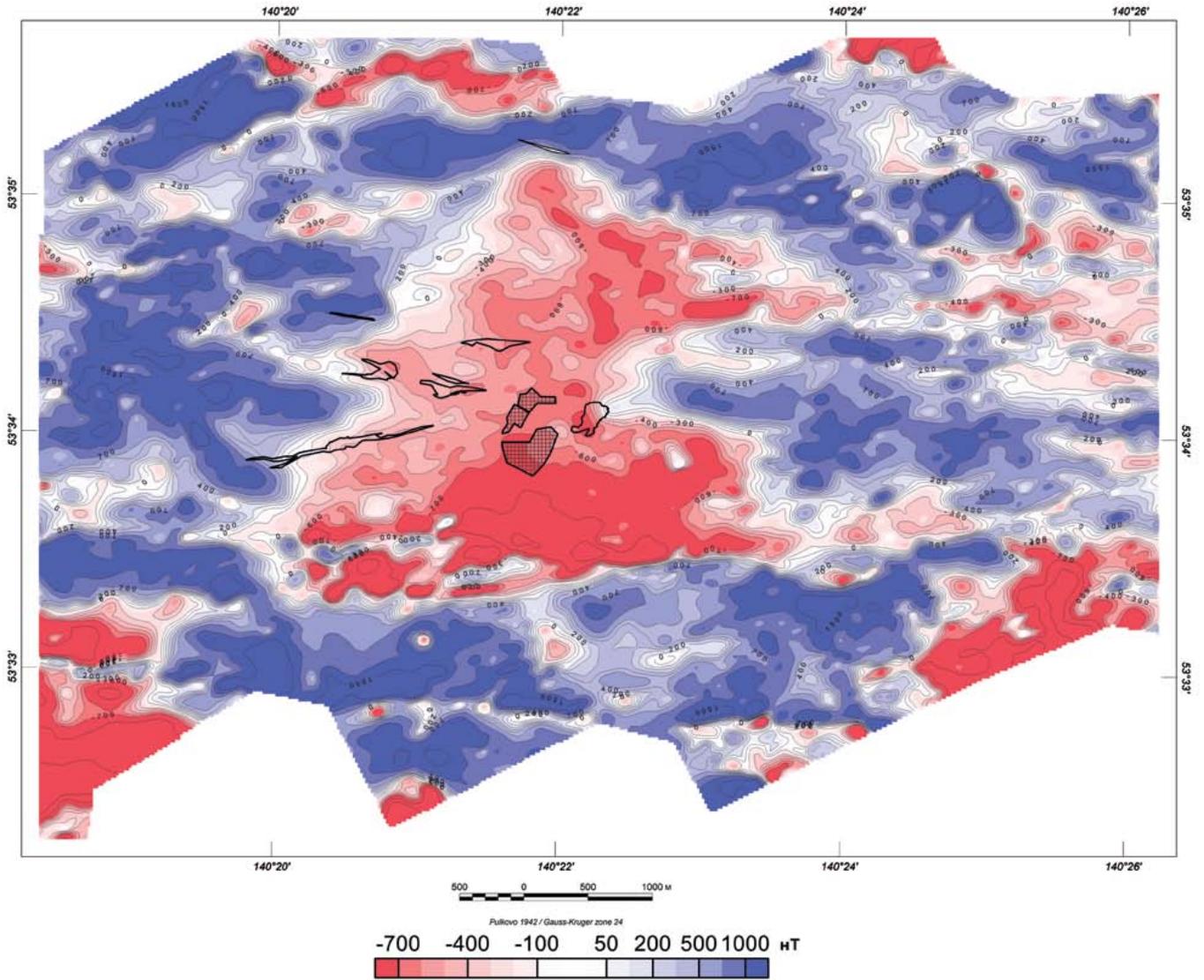
**Fig. 3.** Dependence of chargeability and resistivity from gold grade in samples.

n – numbers of samples for interval of gold contents (table 2).

му полю) соответствует значительное понижение интенсивности магнитного поля трапецевидной формы. Форма аномалии обусловлена в основном разломами широтной и северо-восточной ориентировки (рис. 4).

Понижение магнитной восприимчивости связано с гидротермальными изменениями пород дорудного и рудного этапов. При этом данная отрицательная магнитная аномалия по размерам во много раз превосходит собственно рудные залежи и характеризует объем, связанный прежде всего с измененными породами дорудного этапа (пропилитизированными андезибазальтами). Выделить на этом фоне аномалии, связанные с минерализованными зонами, практически не представляется возможным.

**Вызванная поляризация.** Рудному полю, охватывающему нект и прижерловые фации вулканитов, которые интенсивно изменены гидротермаль-



**Рис. 4.** Белогорское золоторудное поле. Карта модуля вертикальной составляющей ( $\Delta Z$ ) полного вектора магнитного поля (уровень условный).

Здесь и далее контур с черной штриховкой – проекция на поверхность золоторудных тел месторождения Белая Гора, пустой черный контур – прочие минерализованные зоны.

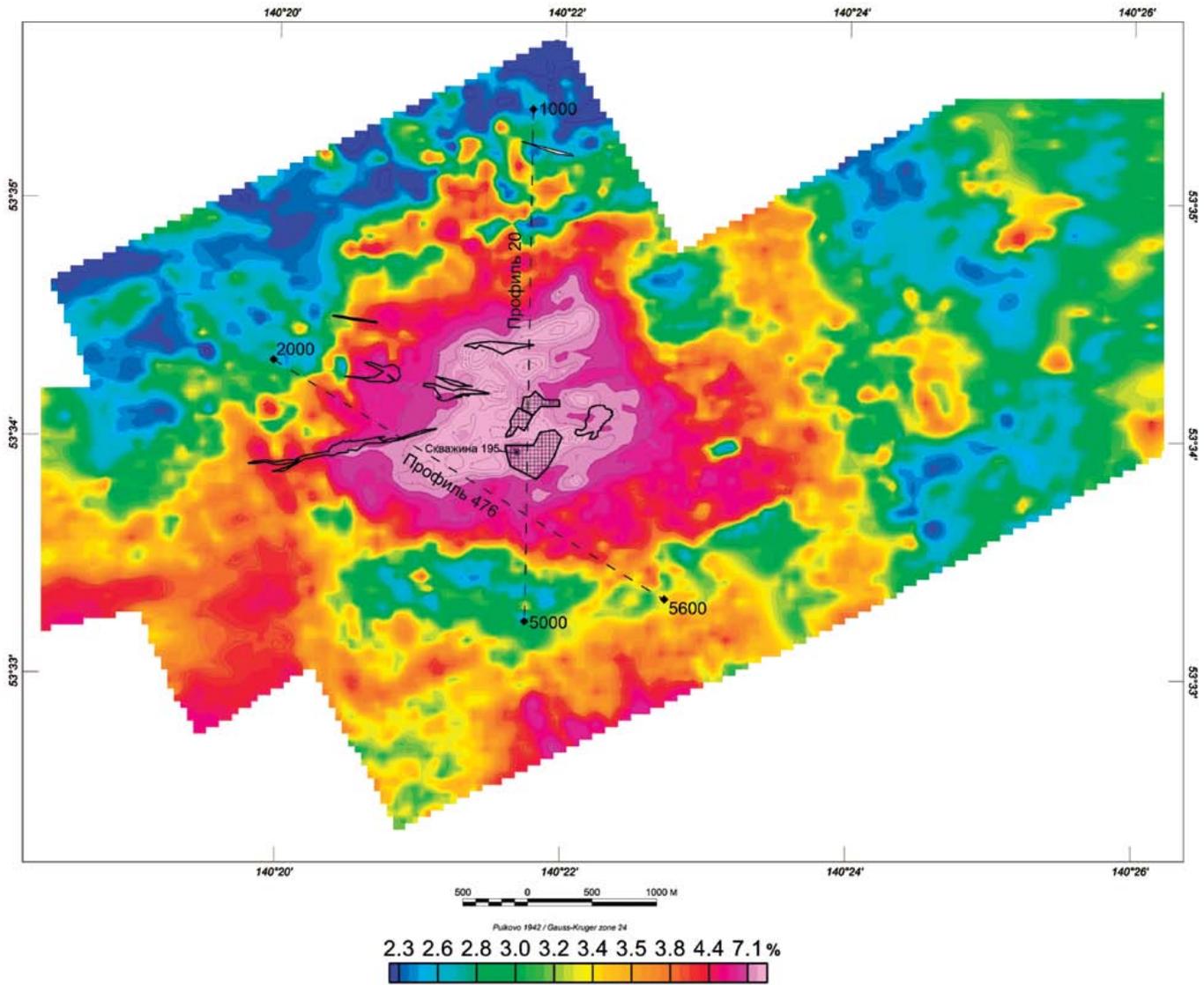
**Fig. 4.** Belaya Gora gold-ore field. Map of vertical component ( $\Delta Z$ ) of magnetic field (relative level).

Here and further black hatching – ore bodies of Belaya Gora deposit, empty black contour – various mineralized zones.

ными процессами, соответствует площадная аномалия высокой поляризуемости, связанная преимущественно с гидротермально измененными породами дорудного этапа, насыщенными пиритом (рис. 5).

Эта аномалия выделена по данным съемки ВП-СГ и может характеризовать интервал глубин порядка 150–200 м. Распространение аномально поляризующихся пород на такую глубину подтверждается и результатами электрического зондирования разных лет.

Однако сама аномалия неоднородна, и имеющийся материал свидетельствует, что собственно рудные тела месторождения и другие минерализованные зоны располагаются в областях относительно понижения поляризуемости, в краевых частях интенсивных повышений данного параметра. Это связано с тем, что гидротермальные изменения рудного этапа в ряде случаев вызывают уменьшения поляризуемости за счет уменьшения общего количества пирита в породах (разрушение раннего пирита) и нового этапа интенсивного окварцевания, умень-



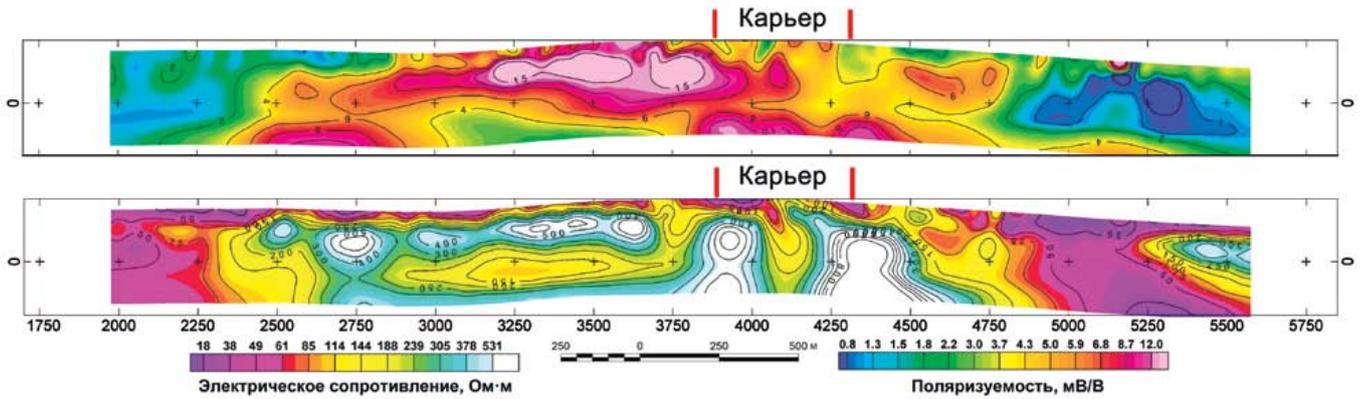
**Рис. 5.** Белогорское золоторудное поле. Карта кажущейся электрической поляризуемости по данным съемки ВП-СГ. Показаны профили электрического зондирования и скв. 195.

**Fig. 5.** Belaya Gora gold-ore field. Map of apparent electrical polarizability on the data of gradient survey. Lines of electrical zounding and drillhole 195 are shown.

шающего пористость пород. Это соответствует и невысокому содержанию сульфидов в руде, меньшему, чем в гидротермально измененных породах дорудного этапа. Месторождение, минерализованные зоны и разрез по линии 476 показаны на рис. 5, построенном по материалам зондирования 2019 г. (рис. 6).

Этот профиль проходит в 200 м юго-западнее карьера месторождения, на нем отчетливо видно понижение поляризуемости, в контур которого проецируются рудные тела, а также наличие повышенной поляризуемости на глубине. Аналогичная и еще более яркая картина наблюдается по данным ВЭЗ-ВП 1984 г. (рис. 7).

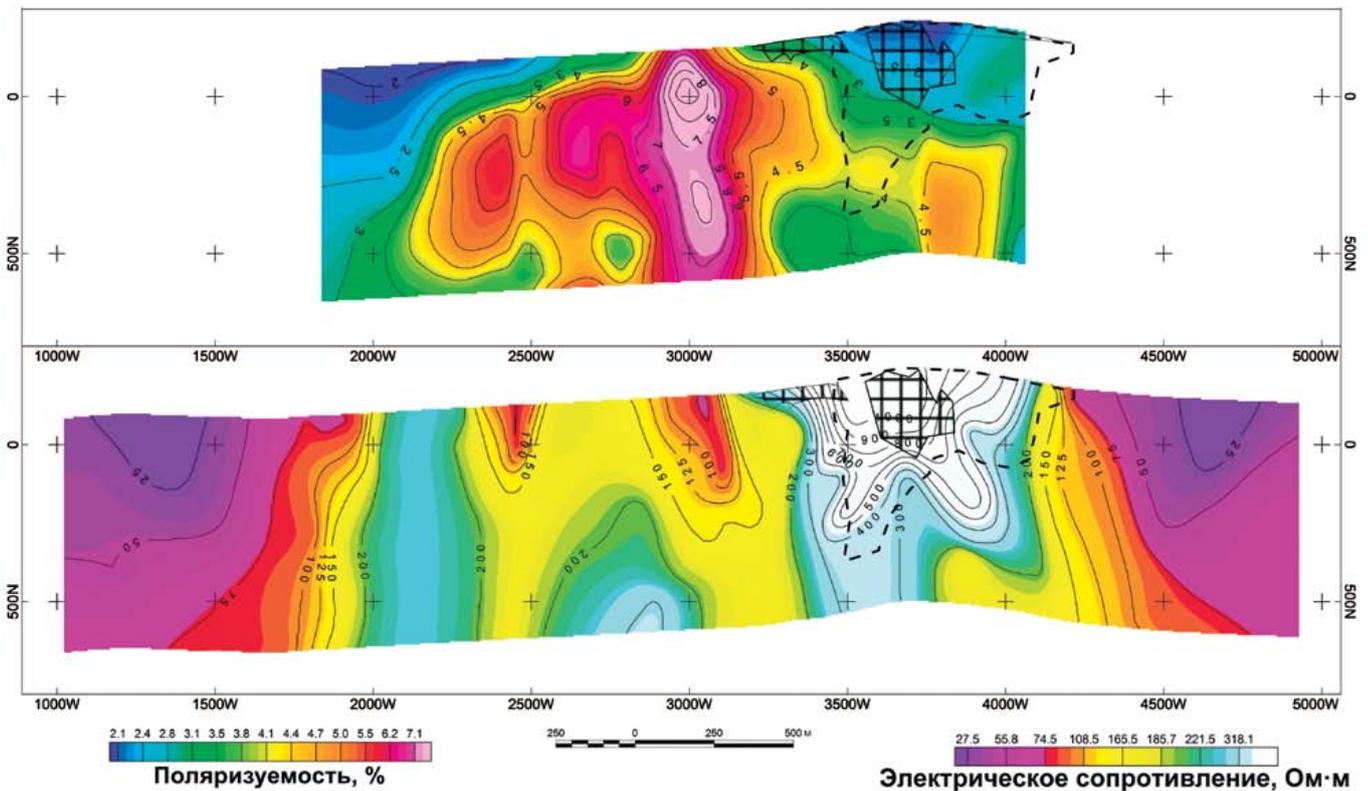
Такое распределение поляризуемости подтверждается и данными каротажа по скважинам (рис. 8). Здесь тоже отчетливо видно, что золотоносные кварц-сульфидные образования обладают относительно меньшей поляризуемостью и большим электрическим сопротивлением, нежели подстилающие их пропилитизированные базальты. Также понятно, что минерализованные образования рудного этапа занимают меньшую по площади область по сравнению с образованиями дорудного этапа, но пространственно сопряжены с ними. Таким образом, золотое оруденение месторождения Бelaya Гора пространственно локализовано внутри



**Рис. 6.** Геоэлектрические разрезы поляризуемости и электрического сопротивления по линии 476. Положение линии, см. рис. 5. 2D-инверсия выполнена программой ZondRes2D ([www. http://zond-geo.com](http://zond-geo.com)).

**Fig. 6.** Geoelectrical sections of chargeability and electrical resistivity along line 476.

Line location see on Fig. 5. 2D-inversion was performed by ZondRes2D software ([www.http://zond-geo.com](http://zond-geo.com)).

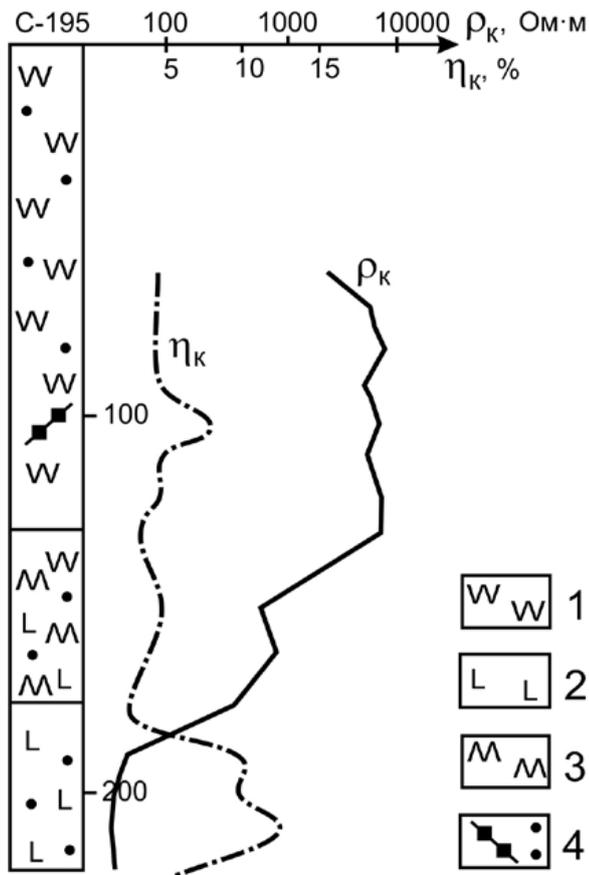


**Рис. 7.** Геоэлектрические разрезы поляризуемости и электрического сопротивления по данным ВЭЗ-ВП по профилю 20 (по материалам Геофизической экспедиции ПГО “Дальгеология”, 1984 г.).

Положение профиля – см. рис. 5. Черная штриховка – рудные тела месторождения, черная штриховая линия – контур экструзии дацитов по геологическим данным.

**Fig. 7.** Geoelectrical sections of polarizability and electrical resistivity on a basic of VEZ-IP data along profile 20 (according to data of Geophysical expedition of PGO “Dalgeologia”, 1984).

Line location see on Fig. 5. Black hatching – ore bodies of Belaya Gora deposit, black dash line – boundary of dacite extrusion.



**Рис. 8.** Графики электрического сопротивления ( $\rho_k$ ) и поляризуемости ( $\eta_k$ ) по скв. 195 (см. рис. 5) (по материалам Геофизической экспедиции ПГО “Дальгеология”, 1984 г.).

1 – “вторичные кварциты”, золотоносные; 2 – базальты пропилитизированные; 3 – гидротермально измененные породы; 4 – сульфидизация (прожилковая, вкрапленная).

**Fig. 8.** The graph of electrical resistivity ( $\rho_k$ ) and polarizability ( $\eta_k$ ) for drillhole 195 (see on Fig. 5). (according to data of Geophysical expedition of PGO “Dalgeologia”, 1984).

1 – secondary quartzite, gold bearing; 2 – basalt propylitized; 3 – altered rock; 4 – sulfides (veinlets, impregnation).

крупной аномалии поляризуемости, но в областях относительно пониженных значений этого параметра. Возможно, это в какой-то мере позволяет выделить гидротермально измененные породы рудного этапа.

**Электрическое сопротивление.** Рудному полю также отвечает в целом относительное повышение кажущегося электрического сопротивления (рис. 9), хотя абсолютные его значения остаются невысокими. Однако в отличие от предыдущих физических параметров поведение электри-

ческого сопротивления более сложное, значения более дифференцированы, наблюдается линейность в его распределении, по-видимому связанная с разломами.

Повышение электрического сопротивления связано с окварцованными породами всех этапов и, возможно, в какой-то мере с карбонатизацией заключительных стадий гидротермального процесса. При этом пространственно основное рудное тело месторождения ассоциирует с областью повышенного сопротивления, зона Пологая располагается в области относительного понижения электрического сопротивления, что коррелирует с вмещающими ее туфами (см. рис. 9). Также остальные минерализованные зоны рудного поля в основном пространственно тяготеют к повышениям электрического сопротивления, некоторые из них вытягиваются вдоль зон его относительного понижения, границ высоких и низких значений этого параметра. Вообще пространственная ассоциация минерализованных зон с границами блоков с резко различным уровнем электрического сопротивления характерна для многих гидротермальных месторождений золота (Носырев, 2019). С этой точки зрения, Белогорское рудное поле имеет значительный потенциал для выделения рудовмещающих обстановок на основе анализа распределения электрического сопротивления в его пределах и по периферии.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение физических свойств пород месторождения показало специфику неизменных и гидротермально измененных пород предрудного и рудного этапов и возможность полевых методов геофизики для их картирования. Анализ имеющихся геофизических материалов по рудному полю также подтвердил эти возможности для выделения потенциальных минерализованных зон. Месторождение золота Белая Гора характеризуется контрастными геофизическими параметрами, которые в обобщенном виде сводятся к следующему.

1. Расположение внутри площадной отрицательной магнитной аномалии, отвечающей в целом рудному полю размером около 8 км<sup>2</sup>. С этой точки зрения Белогорское рудное поле проявлено контрастно за счет изначально сильно магнитных разностей базальтов и андезибазальтов. Более детальную локализацию по данным магниторазведки на уровне минерализованных зон и потенциальных рудных тел внутри общей отрицательной аномалии выполнить затруднительно, поскольку уровень магнитных параметров дорудных и рудных образований практически очень близок.

2. Месторождение Белая Гора расположено в контуре площадной аномалии поляризуемости, развитой до глубины в первые сотни метров. Эта аномалия в плане тесно совпадает с отрицатель-

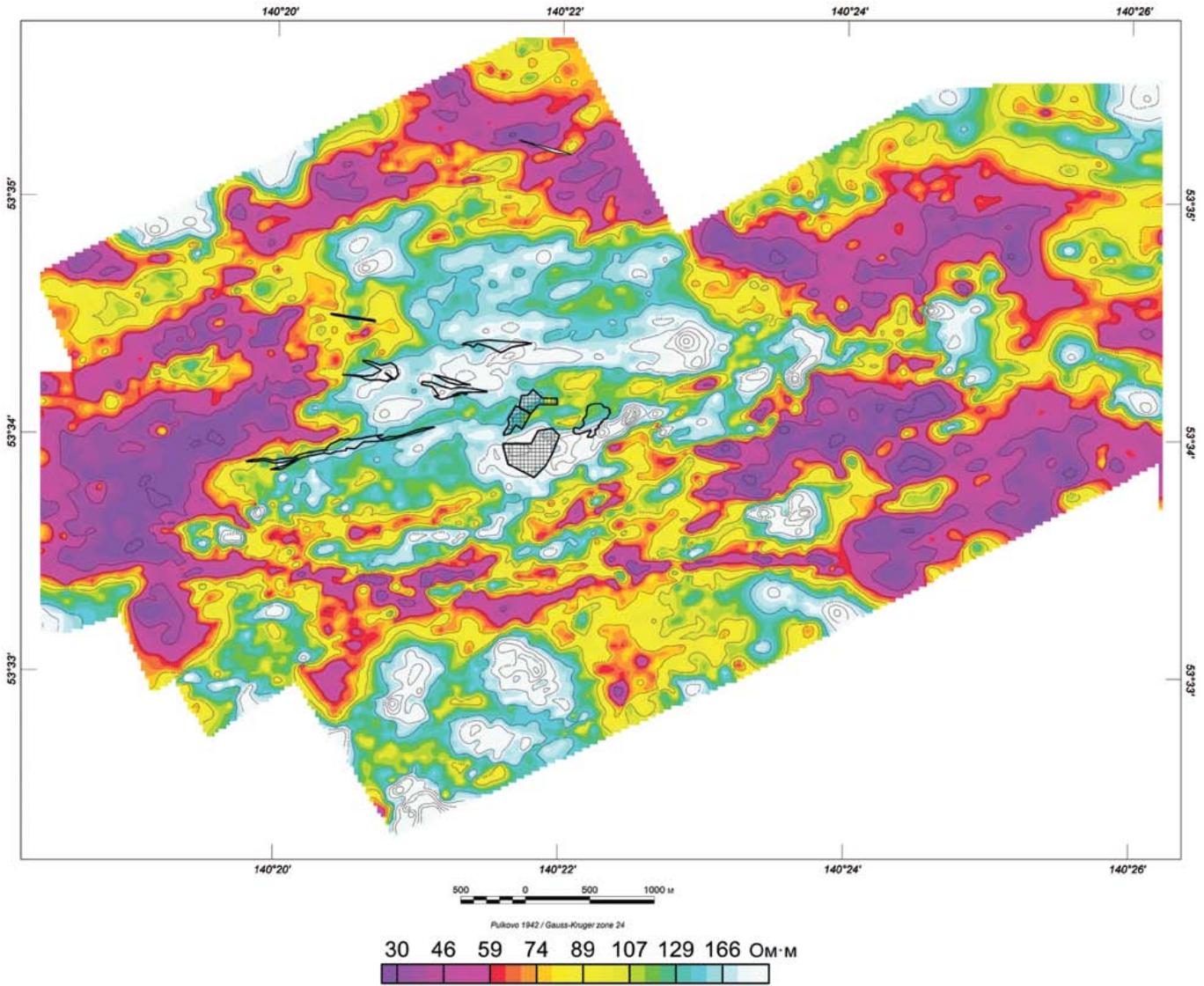


Рис. 9. Белогорское золоторудное поле. Кажущееся электрическое сопротивление по данным съемки ВП-СГ.

Fig. 9. Belaya Gora gold-ore field. Map of apparent electrical resistivity on the data of gradient survey.

ной аномалией магнитного поля и также соответствует рудному полю. Аномалия связана с сульфидизацией пород на предрудном этапе гидротермальных изменений (пропилитизация). Сами рудные тела месторождения ассоциируют с относительным понижением поляризуемости, связанным с гидротермально измененными породами рудного этапа. Эти понижения располагаются внутри аномалии или на ее периферии.

3. Рудному полю в целом отвечает система линейных аномалий повышенного электрического сопротивления. Они устойчиво отражают области развития окварцеванных пород. Рудное тело Штокверк тесно ассоциирует с областью аномально высокого электрического сопротивления. При этом

надо заметить, что зоны окварцевания и карбонизации, связанные уже с послерудным этапом гидротермального изменения пород, также очевидно находят отражение в распределении электрического сопротивления и будут картироваться аномалиями этого параметра.

Полученные характеристики применительно, собственно, к месторождению в значительной степени отвечают рудному телу Штокверк, которое, конечно, содержит основную долю запасов. Однако рудные тела такого типа могут быть не единственными в пределах рудного поля, на что указывает зона Пологая. Возможно наличие минерализации и в слоистом вулканогенном разрезе (туфовых и лавовых разностях). В связи с этим мо-

гут представлять поисковый интерес также области пониженного сопротивления на контакте с высокими его значениями, имеющими линейный характер. В этом случае подразумевается пологое падение таких минерализованных зон.

Помимо месторождения Белая Гора в Нижне-Амурском районе известны еще ряд золотых месторождений и множество рудопоявлений этого типа, а перспективы этого отрезка Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса на выявление таких месторождений высоки. Поэтому анализ геофизических характеристик данного месторождения имеет большую значимость и для их использования при проведении поисковых работ в районе. Рассмотренные признаки, по сути, формируют поисковую геофизическую модель эпitherмального месторождения золота, полученную на основе анализа физических полей и подкрепленную изучением физических свойств гидротермально измененных пород. При проведении поисковых работ она должна являться составной частью общей модели, в которую должны входить геологические и геохимические признаки. В связи с этим необходимо сделать несколько замечаний о рассмотренных характеристиках с точки зрения их уникальности и применимости в других геологических ситуациях.

Безусловно, изменение магнитных параметров в результате гидротермальных процессов дает возможность выделения по понижениям магнитного поля больших областей гидротермально измененных пород, в пределах которых наиболее вероятно локализация золотой минерализации. Эти области в общем могут соответствовать рудным полям или отдельным зонам внутри них, но практически всегда их размеры больше собственно минерализованных областей. Наличие и контрастность таких аномалий зависят от типа вулканогенных пород и их магнитной восприимчивости. При наличии минерализации в изначально слабо магнитных породах выделять такие аномалии затруднительно, а иногда и невозможно.

Объемное распределение поляризуемости в рассмотренном случае дало хорошую основу для выделения потенциального рудного поля, что обусловлено сульфидизацией гидротермально измененных пород на предрудном этапе гидротермальных изменений. Данный признак нужно понимать так, что вероятность нахождения минерализованных зон, месторождений в пределах таких аномалий и по их периферии существенно выше, чем вне них. Однако собственно минерализация локализуется в относительных понижениях этого параметра, на границе контрастных аномальных зон. Также важно заметить, что для эпitherмальных золотых месторождений это не очень характерный признак и чаще рудные поля такого типа характеризуются или очень слабо повышенной поляризуемостью или вообще не выделяются по этому параметру.

Можно определенно утверждать, что минерализованные зоны должны быть расположены в пределах областей повышенного электрического сопротивления или на их контрастных границах. Полагаем, что это более универсальный признак, который должен наблюдаться на многих эпitherмальных месторождениях. Однако разделение аномалий высокого электрического сопротивления на продуктивные и непродуктивные затруднительно, поскольку окварцевание характерно для всех этапов гидротермального процесса, в том числе предрудного (вплоть до образования вторичных кварцитов в случае Белой Горы). Разделить их по геофизическим данным сложно, хотя окварцованные породы предрудного этапа занимают небольшой объем и в этом смысле уступают окварцованным породам рудного этапа.

Таким образом, изучение геофизическими методами трех рассмотренных физических параметров, а именно магнитной восприимчивости, электрического сопротивления и поляризуемости, выявление пространственных закономерностей их распределения и соотношения актуальны при проведении поисковых работ на золотое оруденение в Нижне-Амурском золоторудном районе. Общий подход к интерпретации выделяемых физических неоднородностей в рамках поискового направления мы изложили в этой статье на примере месторождения Белая Гора. Ранее при изучении месторождений золота и других металлов мы рассматривали возможность выделения геофизическими методами ореолов гидротермально измененных пород предрудного этапа (Носырев, 1993). Как правило, подобные области характеризуются наибольшим контрастом физических свойств по сравнению с окружающими породами и обладают размерами, в десятки раз превышающими собственно рудные тела. Эти области, при параметрах традиционно используемых в практике работ поисковых сетей, могут выделяться уверенно и рассматриваться как участки концентрации детальных поисковых работ. С учетом типа вмещающих пород и гидротермальных изменений внутри и по периферии таких областей должны намечаться локальные участки, геофизические характеристики которых близки к параметрам минерализованных участков или указывают на наличие гидротермально измененных пород рудного этапа, фиксируют структурные особенности и геологические тела, благоприятные для локализации оруденения.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования можно сформулировать следующие основные выводы.

1. Месторождение золота Белая Гора и Белогорское золоторудное поле с точки зрения распределения магнитных и электрических свойств пород мо-

гут рассматриваться как петрофизическая аномалия на фоне вмещающих пород.

2. Аномальность физических свойств связана с преобразованием пород в результате наложения гидротермальных изменений. При этом для продуктов прерудного и рудного этапов физические свойства пород различаются, что позволяет выделять внутри рудного поля потенциальные минерализованные зоны.

3. Уровень изменения физических свойств достаточен для того, чтобы выделять такие аномалии (петрофизические неоднородности) геофизическими методами. И рудное поле, и месторождение выделяются отчетливыми геофизическими аномалиями в соответствии с закономерностями, выявленными при изучении физических свойств.

4. Полученные характеристики могут быть распространены на эпитермальные золоторудные месторождения района и рассматриваться как составная геофизическая часть общей поисковой модели при проведении работ. При этом необходим анализ ее применимости и возможных трансформаций с учетом специфики геологических особенностей и исходных физических свойств вмещающих пород на различных поисковых площадях.

6. Проведенная работа будет способствовать повышению эффективности использования геофизических методов при поисках месторождений золота в Нижне-Амурском золоторудном районе.

#### Благодарности

Авторы признательны руководству компании ООО “Белая Гора” и ООО “РДМ” за согласие на использование некоторых принадлежащих ей материалов, а также ведущему геологу департамента геологоразведки ООО “РДМ” В.В. Косятову за поддержку при проведении работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ван Ван Е А.П., Орлова Т.А., Невструев В.Г., Пельцман И.С. (1992) Атлас многофакторных моделей золоторудных месторождений Дальнего Востока. Хабаровск: ДВИМС, 139 с.
- Володькова Т.В. (1999) Гамма-спектрометрические поля и распределение золото-редкометалльного оруденения в Нижне-Амурском регионе. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 244 с.
- Гуменюк В.А. (1987) Рудная минералогическая зональность на золото-серебряном месторождении во вторичных кварцитах (Нижнее Приамурье). *Минералогия рудных районов Дальнего Востока*. Владивосток: ДВО АН СССР 1987, 75-82
- Гуменюк В.А., Глюк Д.С. (1981) О природе рудно-метасоматической зональности золото-серебряных месторождений. *Докл. АН СССР*, **269**(1), 179-183.
- Иванов В.В. (1978) Физико-химические условия рудоотложения на позднепалеогеновых рудопроявлениях Нижнего Приамурья. *Термобарогеохимия и рудогенез*. Т. 2. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 190
- Иванов В.В. (1987) Зональность минералоотложения на простых золото-серебряных проявлениях (Нижнее Приамурье). *Глубинность распространения и элементы зональности эндогенной минерализации Дальнего Востока*. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 35-57.
- Мартынов Ю.А. (1978) Структурное положение, петрография и некоторые петрологические особенности колчанского комплекса Бухтыанской структуры. *Вулканические зоны Востока Азии*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 12-21.
- Мартынов Ю.В., Иванов В.В., Зиньков А.В. (1985) К вопросу о взаимоотношении магматизма и рудообразования на позднепалеогеновых месторождениях Нижнего Приамурья. *Магматизм рудных районов Дальнего Востока*. Владивосток: ДВО АН СССР, 62-69.
- Мельников В.Д., Мельникова Л.В. (1970) Закономерности распределения золота и малых элементов в гидротермально измененных вулканогенных породах месторождения Белая Гора (Нижнее Приамурье). *Изв. Томского политехн. инст.* **239**(4), 45-49.
- Мельникова Л.В. (1976) Стадии минерализации золоторудного месторождения Белая Гора. *Генетические типы и закономерности размещения месторождений золота Дальнего Востока*. Новосибирск, Наука, 71-76.
- Мельникова Л.В., Мельников В.Д. (1969) Гидротермальные изменения вулканогенных пород и золотое оруденение позднепалеогеновых месторождений Нижнего Амура. *Критерии рудоносности метасоматитов*. Алма-Ата, Ин-т геол. наук АН Казю ССР, 74-75.
- Металлогения Дальнего Востока. (2000) Хабаровск: ДВИМС, 218 с.
- Михайлова М.С. (1979) Отчет по теме “Сравнительная характеристика и прогнозная оценка Улского и Правобережного рудных узлов”. М.: ЦНИГРИ, 209 с.
- Мишин Л.Ф. (1999) Гидротермально измененные породы и перспективная оценка месторождения Белая Гора. *Геология и полезные ископаемые Приамурья*. Хабаровск: Дальгеофизика. 172-177.
- Мишин Л.Ф., Бердников Н.В. (2010) Индикаторная роль высокоглиноземистых вторичных кварцитов при поисках рудных месторождений. *Руды и металлы*, **10**, 14-24.
- Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В. (1996) Месторождения золота Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 352 с.
- Новиков В.М. (1968) Особенности морфологии и внутреннего строения золота из близповерхностных месторождений, связанных с вулканическими формациями, на примере месторождений Нижнего Приамурья. *Тр. ЦНИГРИ*, **79**.
- Носырев М.Ю. (1993) Петрофизическая зональность гидротермальных месторождений юга Буреинского массива (на примере Каменушинской вулканотектонической структуры) Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 138 с.
- Носырев М.Ю. (2019) Геоэлектрическая характеристика золоторудных месторождений Верхнего Приамурья. *Тихоокеанская геология*, **38**(5), 76-91.
- Охранчук А.С., Слесарев А.В., Степанов Н.Н. (1984) Отчет о результатах поисковых геолого-геофизических работ масштаба 1 : 10 000 на Белогорском рудном поле, его флангах и на рудопроявлении Граничном (отчет Дорожной партии за 1980–1984 гг.). Хабаровск: ФБУ ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу, 260 с.
- Пшеничкин А.Я. (1977) Термоэлектрические свойства

- пиритов некоторых золоторудных месторождений различных типов. *Изв. Томского политехнического института*, **247**, 74-77.
- Хохлов Э.П., Винаров В.Н. (1983) Геологическое строение и полезные ископаемые Белогорского золоторудного поля (сводный отчет о поисковых работах на Белогорском рудном поле в 1976–82 гг. (Степановская партия). Хабаровск: ФБУ ТФГИ по Дальневосточному федеральному округу, 216 с.
- Физические свойства горных пород Дальнего Востока. Ч. 1. (1987) Владивосток: ДВО АН СССР, 54-89.
- Фомин П.С. (1972) Структурные особенности золоторудного месторождения Белая Гора. *Структурные особенности, систематика и вопросы перспективной оценки золоторудных полей СССР*. М.: ЦНИГРИ, 217-221.
- Югай Т.А. (1967). Гидротермальный метаморфизм и золотое оруденение на месторождении Белая Гора. *Геология и геофизика*, **5**, 27-34.  
<http://zond-geo.com>  
[www.iris-instruments.com](http://www.iris-instruments.com)
- ### REFERENCES
- Fomin P.S. (1972) Structural features of the gold deposit Belaya Gora. *Structural features, classification and question of prospective assessment of gold fields of USSR*. Moscow, TSNIGRI Publ., 217-221. (In Russ.)
- Gumenyuk V.A. (1987) Ore mineralogical zonalities at gold-silver deposit in secondary quartzites (Nijnee Priamurie). Vladivostok, DVnts AN SSSR, 75-82. (In Russ.)
- Gumenyuk V.A., Glyuk D.S. (1981) About nature of ore-metasomatic zonalities of gold-silver deposit. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **269**(1), 179-183. (In Russ.)
- Ivanov V.V. (1978) Physical-chemical conditions of ore-forming at late Paleogenic ore occurrences of the Nizhnee Priamur'e. *Thermobarogeochemistry and ore-forming*. V. 2. Vladivostok, DVNTS AN SSSR, 190 p., (In Russ.)
- Ivanov V.V. (1987) Zonalities of mineral deposition at ordinary gold-silver occurrences (Nizhnee Priamur'e). *Depth of distribution and zonalities features of endogenous mineralization of the Far East*. Vladivostok, DVNTS AN SSSR, 35-57. (In Russ.)
- Khokhlov A.P., Vinarov V.N. (1983) Geological setting and mineralization of the Belogorskoe ore field (summary report about exploration works at the Belogorskoe ore field during 1976–1982 (Stepanovskaya party). Khabarovsk: FBU TFGI for Far East federal district, 216 p. (In Russ., unpublished)
- Martynov Yu.A. (1978) Structural position, petrography and some petrological features of Kolchanskiy complex of the Bukhtyanskaya structure. *Volcanic zones of East Asia*. Vladivostok, DVNTS AN SSSR, 12-21. (In Russ.)
- Martynov Yu.V., Ivanov V.V., Zinkov A.V. (1985) To question of mutual relation magmatism and ore formation at Late Paleogenic deposits of the Nijnee Priamurie. *Magmatism of ore district of Far East*. Vladivostok, DVNTS AN SSSR, 62-69. (In Russ.)
- Mel'nikov V.D., Mel'nikova L.V. (1970) Regularities in distribution of gold and rare elements in hydrothermally altered volcanic rocks of the Belaya Gora deposit (Nijnee Priamurie). *Izv. Tomsk. Politekhnic. Instituta*, **239**(4), 45-49. (In Russ.)
- Mel'nikova L.V. (1976) Stages of mineralization of the gold deposit Belaya Gora. *Genetic types and regularities in location of gold deposit of the Far East*. Novosibirsk, Nauka Publ., 71-76. (In Russ.)
- Mel'nikova L.V., Mel'nikov V.D. (1969) Hydrothermal alterations of volcanic rocks and gold mineralization of late Paleogenic deposits of the Nizhnii Amur. *Criteria of ore-bearing of metasomatites*. Alma-Ata, 74-75. (In Russ.)
- Metallogeny of the Far East (2000) Khabarovsk, DVIMS, 219 p. (In Russ.)
- Mikhailova M.S. (1979) Report "Comparative characteristics and forecast assessment of the Ulsky and Pravoberezhny ore nodes". Moscow: TSNIGRI, 209 p. (In Russ.)
- Mishin L.F. (1999) Hydrothermally altered rocks and prospective assessment of the Belaya Gora deposit. *Geology and minerals of the Priamurie*. Khabarovsk, Dalgeofizika, 172-177. (In Russ.)
- Mishin L.F., Berdnikov N.V. (2010) The indicator role of high-alumina secondary quartzites in the search for ore deposits. *Rudy i Metally*, **10**, 14-24. (In Russ.)
- Moiseenko V.G., Eirish L.V. (1996) Gold deposits of the Far East. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 252 p. (In Russ.)
- Nosyrev M.Yu. (1993) Petrophysical zonalities of hydrothermal deposits of the south part Bureya massif (on example of the Kamenushinskaya volcano-tectonic structure). Cand. geol. and min. sci. diss. Khabarovsk, IT&G DVO RAN, 138 p. (In Russ.)
- Nosyrev M.Yu. (2019) Geoelectric characteristics of the gold deposits of the Verkhnee Priamurie. *Tikhookean. Geologiya*, **38**(5), 76-91. (In Russ.)
- Novikov V.M. (1968) Features of morphology and structure of gold from near surface deposit connected with volcanic formation on the example of deposits in the Nijnee Priamurie. *Bul. TSNIGRI*, 79. (In Russ.)
- Okhranchuk A.S., Slesarev A.V., Stepanov N.N. (1984) Report about results of geological and geophysical exploration works scale of 1 : 10 000 at the Belogorskoe ore field, its flanks and at Granichnoe occurrence (report of Dorojnaya party of 1980–1984). Khabarovsk: FBU TFGI for Far East federal district. 260 p. (In Russ., unpublished).
- Physical properties of rock of the Far East. Part 1. (1987) Vladivostok, DVO AN SSSR, 54-59
- Pshenichkin A.Ya. (1977) Thermo-electrical properties of pyriteses of some gold deposits of different types. *Izv. Tomsk. Politekhnic. Instituta*, **247**, 74-77. (In Russ.)
- Van Van E. A. P., Orlova T.A., Nevstruev V.G., Pel'tsman I.S. (1992) The atlas of multiple factor models of gold deposits of the Far East. Khabarovsk, DVIMS Publ., 139 p. (In Russ.)
- Volod'kova T.V. (1999) Gamma-spectrometry fields and distribution of rare-gold mineralization at the Nijniy Amur region. Cand. geol. and min. sci. diss. Khabarovsk, IT&G DVO RAN, 244 p. (In Russ.)
- Yugai T.A. (1967) Hydrothermal metamorphism and gold mineralization at the Belaya Gora deposit. *Geol. Geofiz.*, **5**, 27-34. (In Russ.)  
<http://zond-geo.com>  
[www.iris-instruments.com](http://www.iris-instruments.com)