

Физические свойства горных пород как источники аномальных изменений геофизических полей (на примере Северо-Западного Прибалхашья)

¹УМИРОВА Гульзада Кубашевна, PhD, ассоциированный профессор, gulmuha@mail.ru,

¹ЗАКАРИЯ Максат Капезович, докторант, zakariya.maksat@gmail.com,

¹*АБЛЕСЕНОВА Зухра Нигметжановна, докторант, zuhjan_b@mail.ru,

¹МУРАТОВА Самал Каримбаевна, к.т.н., ассоциированный профессор, muratova_s.k@mail.ru,

¹НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», ул. Сатпаева, 22а, Алматы, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Геологоразведочная отрасль ставит перед наукой проблемы, связанные с необходимостью детального изучения образования горных пород при поиске месторождений полезных ископаемых. Эффективность решения этих проблем определяется уровнем знаний о физических свойствах горных пород, геологических условиях формирования месторождений полезных ископаемых и вмещающего массива. Широкое исследование физических свойств горных пород закончилось с распадом Советского Союза. Многие исследователи при выполнении своих научных работ до сих пор пользуются результатами изучения физических параметров, который производился в прошлом столетии. Поэтому сбору и обобщению обширного материала априорной информации, связанной с анализом физических свойств отводится большое внимание. Актуальность исследований, представленных в статье, связана с вопросами кондиционного изучения физических свойств пород, которые определяют основу геологического истолкования результатов геофизики. Полноценный анализ отложений района по физическим параметрам позволит установить общие закономерности возбуждения геофизических аномалий и дальнейшей их интерпретации.

Ключевые слова: физические свойства горных пород, Северо-Западное Прибалхашье, магнитная проницаемость, плотность, удельное электрическое сопротивление, поляризуемость, радиоактивность.

Цель работы: разработка теоретических выводов о физических свойствах горных пород для дальнейшего использования при обосновании выбора наиболее рационального комплекса геофизических методов, обеспечивающих повышение надежности геологического истолкования и прогнозирования точек, интервалов и зон медного и золотого оруденения.

Основные задачи исследования:

1. Исследовать закономерности изменения физических свойств горных пород (плотность, магнитная восприимчивость, удельное электрическое сопротивление, поляризуемость, радиоактивность) в зависимости от вещественного состава и условий

образования.

2. Прогнозирование интенсивности и распределения в пространстве геофизических аномалий в зависимости от значений физических параметров среды.

Актуальность. Ни для кого не секрет, что эффективность использования геофизических методов напрямую связана с уровнем дифференциации физических свойств горных пород исследуемого района. С другой стороны, физические свойства горных пород служат источниками геофизических аномалий, которые являются основной информацией при проведении качественной геологической интерпретации геофизических данных. Глубокая проработка петрофи-

зических основ любого исследования дает возможность доизучения геологического строения района исследований, правильного истолкования геофизических аномалий при выделении структурно-тектонических особенностей, прогноза зон рудной минерализации и решения многих других геологических задач. Для детальной проработки связи между геологическими процессами и генезисом того или иного типа месторождений используются результаты не только теоретических исследований, но и лабораторных и полевых работ. Приведем тот факт, что при написании отчетов обязательным является изучение физических свойств горных пород как основы геологической интерпретации геофизических данных. Изучение физических свойств горных пород имеет применение не только при реализации количественной интерпретации и моделировании геофизических данных, но и необходимо и при выборе места захоронения радиоактивных отходов, и при строительстве подземных хранилищ нефти и газа, и при решении множества других задач.

Для анализа физических свойств района исследований была выполнена большая работа по сбору и обобщению большого количества отчетов по территории Северо-Западного Прибалхашья. Район исследований расположен в юго-западной части Северо-Балхашского мегантиклинория. В геологическом строении участвуют отложения протерозойской, кембрийской, ордовикской, девонской, каменноугольной, пермской, неогеновой и четвертичной систем. Интрузивная деятельность проявилась во внедрении небольших тел, ограниченных тектоническими контактами позднепротерозойских габбро-перидотитов и пермских малых интрузий гранодиорит-диоритовой формации саякского и катбарского комплексов [1].

Для обоснования применения на территории исследований гравитационной разведки был выполнен анализ плотностных характеристик широкого спектра отложений. Горные породы представлены от кислых гранитоидов до гидротермально-измененных пород, их плотность изменяется в пределах от 2,55 до 3,48 г/см³. Отличительная особенность плотностных характеристик данного района – это то, что плотности не зависят от стратиграфических особенностей, а характеризуют только вещественный состав. В группе с минимальными значениями плотностей от 2,55 до 2,59 г/см³ можно выделить силурийские отложения, представленные песчаниками, алевролитами, гранитами различного состава. Отметим, что яшмокарциты, туфы и эффузивы, характеризующиеся кислым

составом, также находятся в этой группе. Ожидается, что это самые не гравиактивные массы на территории исследований, которые будут представлены отрицательными аномалиями.

Самыми плотными песчаниками и алевролитами с плотностью 2,68-2,69 г/см³ являются карбоновые отложения кунгисаякской свиты. С повышением основности наблюдается увеличение плотностных характеристик гранитоидов от 2,55 до 2,98 г/см³ у ультраосновных пород пермских отложений.

Плотности эффузивно-осадочных образований района исследований также зависят от состава горных пород. Так, например, если эффузивы и туфы кислого состава силурийского возраста имеют довольно низкую плотность до 2,56 г/см³, то эффузивы и туфы среднего состава характеризуются плотностью в 2,69 г/см³. Таким образом, эти горные породы будут наблюдаться как гравитационный фон со средними значениями плотностей.

Самыми гравиактивными массами района исследований являются отложения карбона, представленные диабазами и габбро, и ультраосновные породы, серпентиниты и порфириты андезитовые перми. Их плотности варьируют в пределах от 2,84 до 3,98 г/см³, и прогнозируется, что именно эти горные породы будут вызывать самые положительные гравитационные аномалии района работ.

Магнитные свойства пород, которые входят в состав района, имеют значительные вариации. В целом, намечается повышение намагниченности горных пород от кислого, кисло-щелочного ряда до основных как среди эффузивных образований, так и среди интрузивных пород, вне зависимости от возраста.

Осадочные отложения характеризуются низкими значениями магнитной восприимчивости, колеблющиеся в пределах от $0-150 \times 10^{-6}$ СГС и создают спокойные отрицательные поля (ΔT)а. Липаритовые порфиры и их туфы обладают магнитными свойствами в диапазоне $(24-310) \cdot 10^{-6}$ СГС и создают одинаковые по интенсивности с осадочными породами магнитные поля, но более сложного строения. Более повышенной средней намагниченностью $(116-726) \cdot 10^{-6}$ СГС характеризуются липарито-дацитовые порфиры и туфолавы дацитовых порфиритов. Площадям развития этих образований отвечают переменные со значительными горизонтальными градиентами магнитные поля мозаичного характера.

Высокие значения магнитной восприимчивости характерны для андезитовых и андезитодацитовых порфиритов и их туфов. Их средняя магнитная восприимчивость коле-

блется в пределе $(570-1150) \cdot 10^{-6}$ СГС. Магнитные поля над ними положительные (200-600 и более гамм), нередко изрезанные. Это объясняется, по-видимому, переслаиванием андезитовых порфиритов со средне- и слабомагнитными эффузивами. Своеобразную группу пород по характеру создаваемых ими магнитных полей составляют образования жерловой фации. При значениях магнитной восприимчивости $(300-500) \cdot 10^{-6}$ СГС они создают интенсивные резкоградиентные отрицательные аномалии различных форм. Отсутствие сведений о направлении и величине вектора остаточного намагничивания не дает объяснения наблюдаемым полям.

Интрузивные породы, такие как габбро, перидотиты и граниты с гранит-порфирами пермской системы, имеют большую изменчивость магнитных свойств. Например, магнитная восприимчивость для этой группы пород может составлять 130 нанотесла, в то время как для других пород эти значения превышают 3000 нанотесла [8].

Информация об электрических свойствах горных пород и руд была получена путем полевых и каротажных исследований, проведенных Бактайской, Батыкызыльской, Восточной, Итмурундинской, Кашкарской и Гравиметровой партиями. Во время исследований были изучены параметры кажущегося сопротивления и поляризуемости. Результаты показали, что сопротивление песчаников изменяется в диапазоне от 100 до 1800 Ом·м. Для алевролитов максимальное значение кажущегося сопротивления достигает 2400 Ом·м. Для яшмокварцитов характерно сопротивление до 1000 Ом·м, которое варьирует в зависимости от содержания магнетита. Интрузивные породы кислого состава имеют сопротивление до 400 Ом·м, в то время как ультраосновные породы имеют сопротивление от 200 до 600 Ом·м. Сопротивление серпентинизированных ультрабазитов составляет от 5 до 100 Ом·м. Габбро имеет сопротивление 1500 Ом·м, диабазовые порфириты синийского возраста – до 6000 Ом·м. Гидротермальные изменения, такие как окварцевание, увеличивают сопротивление пород до 500 Ом·м, тогда как процессы сульфидной минерализации снижают его до 50-100 Ом·м. Углефицированные алевролиты имеют сопротивление 50-75 Ом·м.

В результате исследований поляризуемости горных пород было установлено, что этот параметр зависит от количества электропроводящих минералов, а также от их распределения и размера зерен. В целом, неизменные породы характеризуются слабой поляризуемостью, которая не превышает 3%. Пиритизированные песчаники

имеют значительно более высокую поляризуемость, которая достигает 9,4%, а для интенсивно пиритизированных песчаников с присутствием халькопирита она составляет 17,8%. В присутствии тонкораспыленного магнетита в серпентинизированных ультрабазитах их поляризуемость повышается до 28,1%. Поляризуемость интрузивных пород кислого состава зависит от наличия сульфидов в них. Для пиритизированных гранитов с халькопиритом поляризуемость достигает 4,8%, а для пиритизированных гранодиоритов – 19%.

Необходимо отметить, что значения радиоактивности, характеризующие те или иные геологические разновидности по району, сугубо условные в виду недостаточно хорошей обнаженности участка исследования. Этим же обстоятельством объясняются большие вариации величин радиоактивности для однотипных геологических образований. Низкими значениями радиоактивности и концентраций РАЭ обладают осадочные отложения всех возрастов (5-6 мкр/час). Также слабой радиоактивностью характеризуются андезитодацитовые порфириты (5-6 мкр/час). Вторичные кварциты характеризуются гамма-активностью 4-5 мкр/час. Туфолавы липаритодацитового состава, липаритодацитовые порфиры, кварцевые т кварцполевошпатовые порфиры, туфы кислого состава каркалинской (C_{1V_3} -пкг), кергетасской (C_{2-3} кг) свит характеризуются гамма-активностью 8-12 мкр/час и повышенным содержанием РАЭ. Интрузивные образования дифференцируются в гамма-поле только по их литолого-петрографическим особенностям, независимо от принадлежности к тому или иному комплексу. Гамма-интенсивность гранодиоритов, диоритов колеблется в пределах 5-7 мкр/час. Граниты всех комплексов имеют радиоактивность 5-6 мкр/час. Крупнозернистые граниты характеризуются повышенными значениями гамма-активности – 8-9 мкр/час.

Анализ физических свойств горных пород района позволил сделать следующие **Выводы**:

1. По возрасту горные породы района исследований не дифференцируются.

2. Осадочные образования, представленные песчаниками, известняками, алевролитами, аргиллитами и конгломератами, имеют плотность от 2,59 г/см³ до 2,90 г/см³ независимо от их стратиграфической принадлежности, среди которых отложения девона и карбона характеризуются более низкой плотностью со средним осадочным значением 2,66-2,69 г/см³. Более древние палеозойские осадочные породы имеют средние плотности $\sigma_{cp} = 2,70-2,75$ г/см³.

3. Осадочно-метаморфические отложения казыкской и тюретайской свит: яшмы, яшмокварциты, кварциты, глинисто-кремнистые породы характеризуются значениями плотности от 2,54 г/см³ до 2,94 г/см³ при $\sigma_{\text{ср}} = 2,67-2,72$ г/см³.

4. Эффузивные и эффузивно-осадочные образования – порфириты, туфы смешанного состава, эффузивы кислого состава – широко развиты на описываемой площади, средняя плотность которых колеблется в пределах 2,66-2,73 г/см³. Наибольшими значениями $\sigma_{\text{ср}}$ обладают порфириты ($\sigma_{\text{ср}} = 2,72$ г/см³), наименьшими – кислые эффузивы ($\sigma_{\text{ср}} = 2,66-2,67$ г/см³).

5. Изверженные горные породы хорошо дифференцируются по плотности, причем соблюдается известная закономерность: увеличение σ от кислых разностей к основным. Так, у биотитовых, биотит-роговообманковых гранодиоритов и кварцевых диоритов $\sigma_{\text{ср}} = 2,64$ г/см³, у ультраосновных пород, представленных на описываемой площади дунитами и перидотитами – 2,98 г/см³.

6. Средняя плотность верхней части палеозойского фундамента, сложенная осадочными, осадочно-эффузивными образованиями девона и карбона, приближается к величине 2,67 г/см³, которая принята за плотность промежуточного слоя. Таким образом, относительно ее на описываемой площади можно выделить следующие плотностные границы:

для итмурундинской свиты с разностью плотностей $\sigma_{\text{эф}} = 2,75-2,67 = +0,08$ г/см³;

для ультраосновных пород синийского комплекса с разностью плотностей 2,98-2,67 = +0,31 г/см³.

7. Яшма-кварциты, некоторые разности спилитов и диабазовых порфиритов итмурундинской свиты характеризуются магнит-

ной восприимчивостью, превышающей 500 нанотесла.

8. У эффузивно-осадочных пород магнитными являются яшма-кварциты, отдельные разности спилитов и диабазовых порфиритов итмурундинской свиты. Значение магнитной восприимчивости у них более 500 нТл.

9. Магнитные свойства осадочных пород не зависят от возраста горной породы и являются немагнитными.

10. Горные породы, образованные в результате их гидротермальной проработки (к ним относятся гранодиориты и эффузивы основного состава), характеризуются пониженными значениями магнитной восприимчивости, что на картах магнитного поля будут выделяться как зоны относительного понижения магнитных аномалий.

11. По результатам анализа магнитных свойств горных пород, повышенными значениями магнитной восприимчивости характеризуются эффузивы основного состава, интрузии гранодиоритов и ультраосновные породы пермских отложений, что ведет к их четкому картированию магниторазведочными исследованиями.

12. Такими же характеристиками с точки зрения магнитных свойств отмечаются и области серпентинизации, и зоны гидротермальной проработки горных пород, которые также будут наблюдаться положительными магнитными аномалиями.

13. Дифференцируемость электрических свойств горных пород хорошая и применима для поисков и разведки месторождений золота и сопутствующих полезных ископаемых.

14. Радиоактивные свойства горных пород района исследований дифференцированы, что дает возможность уверенному их картированию методами радиометрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закария М.К., Умирова Г.К., Кисеева Ш.Ө., Жәңгірханова А.А. Физико-геологические предпосылки изучения геофизическими методами месторождений золота Северо-Западного Прибалхашья.
2. Геодинамика и минерагения Республики Казахстан. Алматы, 2000.
3. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых на территории Республики Казахстан. Кокшетау, 2002.
4. Некоторые рудные провинции Казахстана (Доклады на семинаре-совещании). Алматы, 2013.
5. Соколов С.В. Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения. СПб, 1998.
6. Ермекбаев А.Е. Открытие месторождений рудных полезных ископаемых поисковыми геофизическими и геохимическими методами в Республике Казахстан // Геология и разведка недр Казахстана. Алматы: Издательство Академии минеральных ресурсов. – 2001. – № 1. – С. 48-50.

7. Кличников В.А. Эффективность комплексных геолого-геофизических и геологических исследований при поисках рудных месторождений в Казахстане // Там же. Алматы: Издательство Академии минеральных ресурсов. – 2001. – № 1. – С. 40-47.
8. Density and magnetic susceptibility of major rock types within the Abitibi greenstone belt: a compilation with examples of its use in constraining inversion. Vayavur, R. S. Smith, C. Mancuso, F. Della Justina & J. Ayer Received 06 Mar 2023, Accepted 10 Jul 2023.
9. Geophysical methods capabilities in prospect evaluation and detection of copper-bearing localisations of western pre-Balkhash. A. Sharapatov, E.E. Taikulakov, N.A. Assirbek, 72 NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES ISSN 2224-5278 Volume 3, Number 441 (2020), 72-78. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.56>

Таужыныстарының физикалық қасиеттері геофизикалық өрістердің қалыптан тыс өзгеру көздері ретінде (Солтүстік-Батыс Балқаш мысалында)

¹**УМИРОВА Гульзада Кубашқызы**, PhD, қауымдастырылған профессор, gulmuha@mail.ru,

¹**ЗАҚАРИЯ Мақсат Қапезұлы**, докторант, zakariya.maksat@gmail.com,

¹***АБЛЕСЕНОВА Зухра Ниғметжанқызы**, докторант, zuhjan_b@mail.ru,

¹**МУРАТОВА Самал Каримбаевна**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, muratova_s.k@mail.ru,

¹«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 22а, Алматы, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Пайдалы қазбалар кен орындарын іздеу кезінде тау жыныстарының түзілуін нақты зерттеу қажеттілігімен байланысты геологиялық барлау саласы ғылым алдында шешілмеген мәселелерді алға тартады. Бұл қиындықтарды шешудің тиімділігі тау жыныстарының физикалық қасиеттері, пайдалы қазбалар кен орындарының қалыптасуының геологиялық жағдайлары және сыйымдылық массиві туралы білім деңгейімен анықталады. Тау жыныстарының физикалық қасиеттерін кеңінен зерттеу Кеңес Одағының ыдырауымен аяқталды. Көптеген зерттеушілер өздерінің ғылыми жұмыстарын орындау кезінде өткен ғасырда жасалған физикалық параметрлерді зерттеу нәтижелерін әлі де пайдаланады. Сондықтан физикалық қасиеттерді талдауға байланысты априорлық ақпараттың кең ауқымды материалын жинауға және жалпылауға көп көңіл бөлінеді. Мақалада келтірілген зерттеулердің өзектілігі геофизика нәтижелерін геологиялық түсіндірудің негізін анықтайтын тау жыныстарының физикалық қасиеттерін кондициялық зерттеу мәселелерімен байланысты. Физикалық параметрлер бойынша аудан шөгінділерін толыққанды талдау геофизикалық ауытқулардың қозуының жалпы заңдылықтарын анықтауға және оларды әрі қарай түсіндіруге мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: тау жыныстарының физикалық қасиеттері, Солтүстік-Батыс Балқаш, магниттік өткізгіштік, тығыздық, меншікті электр кедергісі, поляризация, радиоактивтілік.

Physical Properties of Rocks as Sources of Anomalous Changes in Geophysical Fields (Case Study of the North-Western Pre-balkhash Region)

¹**UMIROVA Gulzada**, PhD, Associate Professor, gulmuha@mail.ru,

¹**ZAKARIA Maksat**, Doctoral Student, zakariya.maksat@gmail.com,

¹***ABLESSENOVA Zukhra**, Doctoral Student, zuhjan_b@mail.ru,

¹**MURATOVA Samal**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, muratova_s.k@mail.ru,

¹NCJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Satpayev Street, 22a, Almaty, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. *The geological exploration industry poses problems to the science, connected with the need to study in detail the formation of rocks in the search for mineral deposits. The effectiveness of solving these problems is determined by the level of knowledge about the physical properties of the rocks, geological conditions of the formation of mineral deposits and the holding area. Extensive research into the physical properties of rocks ended with the collapse of the Soviet Union. Many researchers, in carrying out their scientific work, still use the results of the study of physical parameters, which was made in the last century. Therefore, a lot of attention is paid to the collection and synthesis of extensive material a priori related to the analysis of physical properties. The relevance of the studies presented in the article is related to the problems of the condition study of physical properties of rocks, which determine the basis of geological interpretation of the results of geophysics. A full analysis of the region's sediments by physical parameters will allow to establish common patterns of initiation of geophysical anomalies and their further interpretation.*

Keywords: *physical properties of rocks, North-West Balkhashye, magnetic permeability, density, electrical resistivity, polarizability, radioactivity.*

REFERENCES

1. Zakariya M.K., Umirova G.K., Kiseyeva SH.Ö., ZHəŋgirkhanova A.A. Fiziko-geologicheskiye predposylki izucheniya geofizicheskimi metodami mestorozhdeniy zolota Severo-Zapadnogo Pribalkhash'ya.
2. Geodinamika i minerageniya Respubliki Kazakhstan. Almaty, 2000.
3. Metodicheskoye rukovodstvo po otsenke prognoznnykh resursov tverdykh poleznykh iskopayemykh na territorii Respubliki Kazakhstan. Kokshetau, 2002.
4. Nekotoryye rudnyye provintsii Kazakhstana (Doklady na seminare-soveshchani). Almaty, 2013.
5. Sokolov S.V. Struktury anomal'nykh geokhimicheskikh poley i prognoz orudneniya. Saint Petersburg, 1998.
6. Yermekbayev A.Ye. Otkrytiye mestorozhdeniy rudnykh poleznykh iskopayemykh poiskovymi geofizicheskimi i geokhimicheskimi metodami v Respublike Kazakhstan // Geologiya i razvedka neдр Kazakhstana. Almaty: Izdatel'stvo Akademii mineral'nykh resursov. – 2001. – No. 1. – Pp. 48-50.
7. Klichnikov V.A. Effektivnost' kompleksnykh geologo-geofizicheskikh i geologicheskikh issledovaniy pri poiskakh rudnykh mestorozhdeniy v Kazakhstane // Tam zhe. Almaty: Izdatel'stvo Akademii mineral'nykh resursov. – 2001. – No. 1. – Pp. 40-47.
8. Density and magnetic susceptibility of major rock types within the Abitibi greenstone belt: a compilation with examples of its use in constraining inversion. Vayavur, R.S. Smith, C. Mancuso, F. Della Justina & J. Ayer Received 06 Mar 2023, Accepted 10 Jul 2023.
9. Geophysical methods capabilities in prospect evaluation and detection of copper-bearing localisations of western pre-Balkhash. A. Sharapatov, E.E. Taikulakov, N.A. Assirbek, 72 NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES ISSN 2224-5278 Volume 3, Number 441 (2020), 72-78. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.56>