*Записки Ленинградского ордена Ленина
и ордена Трудового Красного Знамени
горного института им. Г. В. Плеханова
т. LXI, вып. 2, 1971 г.*

ВОЗМОЖНОСТИ ГАММА-ГАММА-КАРОТАЖА НА МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

В. А. Арцыбашев, Л. М. Горбунова, Г А. Иванюкович

Значительные объемы бурения при поисках и разведке медно-никелевых руд в пределах Печенгского и Алла-акка-Ярвинского рудных полей определяют постоянные усилия, направленные на совершенствование каротажа скважин и повышение его эффективности. К настоящему времени решены вопросы комплексирования стандартных методов каротажа и выяснены возможности как комплекса в целом, так и отдельных методов при выделении основных типов горных пород и руд [1].

В настоящей статье излагаются результаты применения нового вида каротажа — сопряженного γ-γ-каротажа (ГГК) [2], который позволяет одновременно определить с высокой точностью (1—3%) плотность пород и руд, а также их эффективный атомный номер.

Для каротажа использовали двухканальную аппаратуру ДРСА, скважинный снаряд которой был несколько изменен. Оба сцинтилляционных детектора γ-излучения использовали для ГГК, поместив их на расстоянии 21 *см* (малый зонд) и 44 *см* (большой зонд) от общего источника γ-излучения (CS^{137} активностью 5 мг-экв. радия). Размеры детектора малого зонда — 18×10 *мм*, большого — 18×30 *мм*. Против детектора малого зонда в кожухе имелось окно из алюминия, пропускающее мягкое γ-излучение.

Конструкция зондов предусматривала их эталонирование в единицах плотности в одном опорном пласте [3].

Скорость счета в обоих каналах аппаратуры контролировали непосредственно до и после проведения каротажа с помощью контрольно-калибровочного устройства [4]. Ошибка измерения интенсивности γ-излучения, вычисленная по результатам повторного каротажа, не превышала $\pm2{,}0\%$.

С помощью описанной выше двухзондовой аппаратуры одновременно определяли плотность и эффективный атомный номер пород и руд. Эталонирование зондов в единицах плотности выполняли непосредственно в скважинах. Зависимость γ-полей от эффективного атомного номера устанавливали в лабораторных условиях на моделях рудных тел.

Плотность пород и руд и их эффективный атомный номер рассчитывали с помощью номограммы по измеренным скоростям счета N_1 и N_2, соответственно, в малом и большом зонде [2].

Никеленосные ультраосновные и основные породы и связанные с ними сульфидные медно-никелевые месторождения Печенгского рудного поля пространственно приурочены к дислоцированной толще туфогенно-осадочных пород, залегающей среди эффузивов основного состава. Литологический

состав туфогенно-осадочной толщи довольно однообразный — преимущественное распространение имеют филлиты, среди которых в виде прослоев залегают песчаники, известняки, туфосланцы, туффиты, туфы и

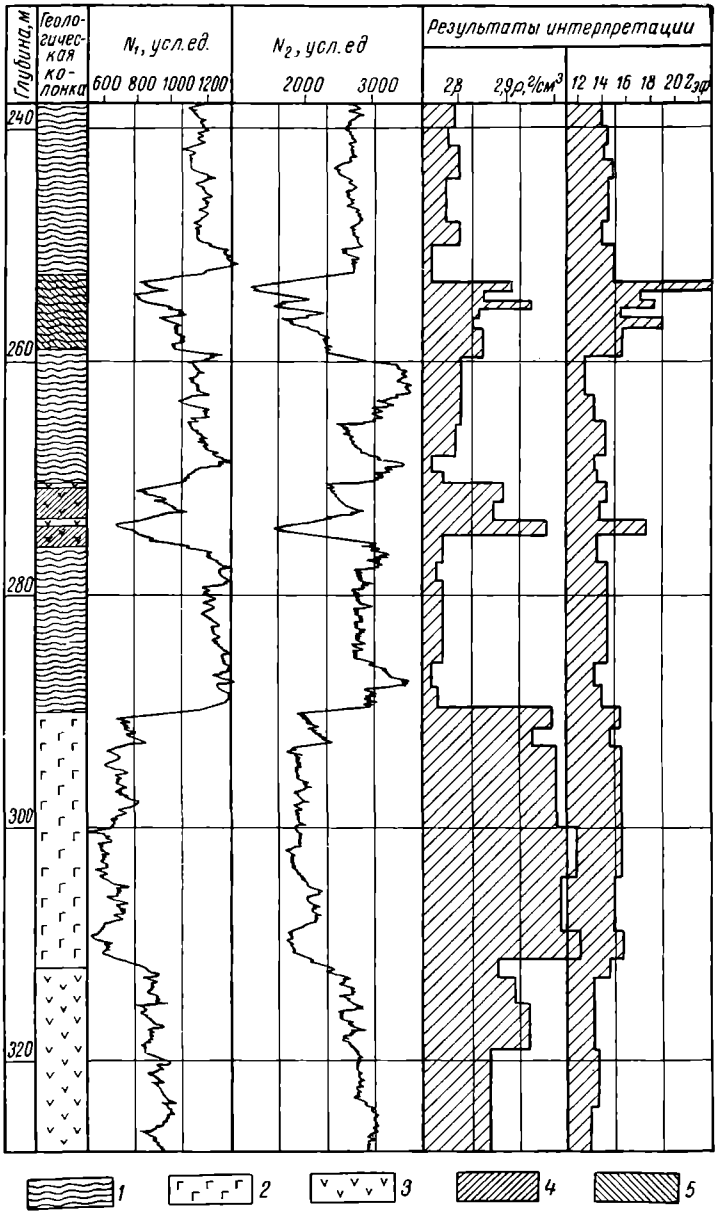


Рис. Результаты ГГК на поисковом участке 3 Печенгского рудного поля:

1 — филлит; *2* — габбро; *3* — перидотит; *4* — сульфидная минерализация; *5* — бедные руды (*Ni* менее 1%)

туфобрекчии. Филлиты часто содержат вкрапленность и прожилки сульфидов, представленных пирротином, пиритом и марказитом, причем устанавливается прямая зависимость между интенсивностью складчатости филлитов и их оруденением [5, 6].

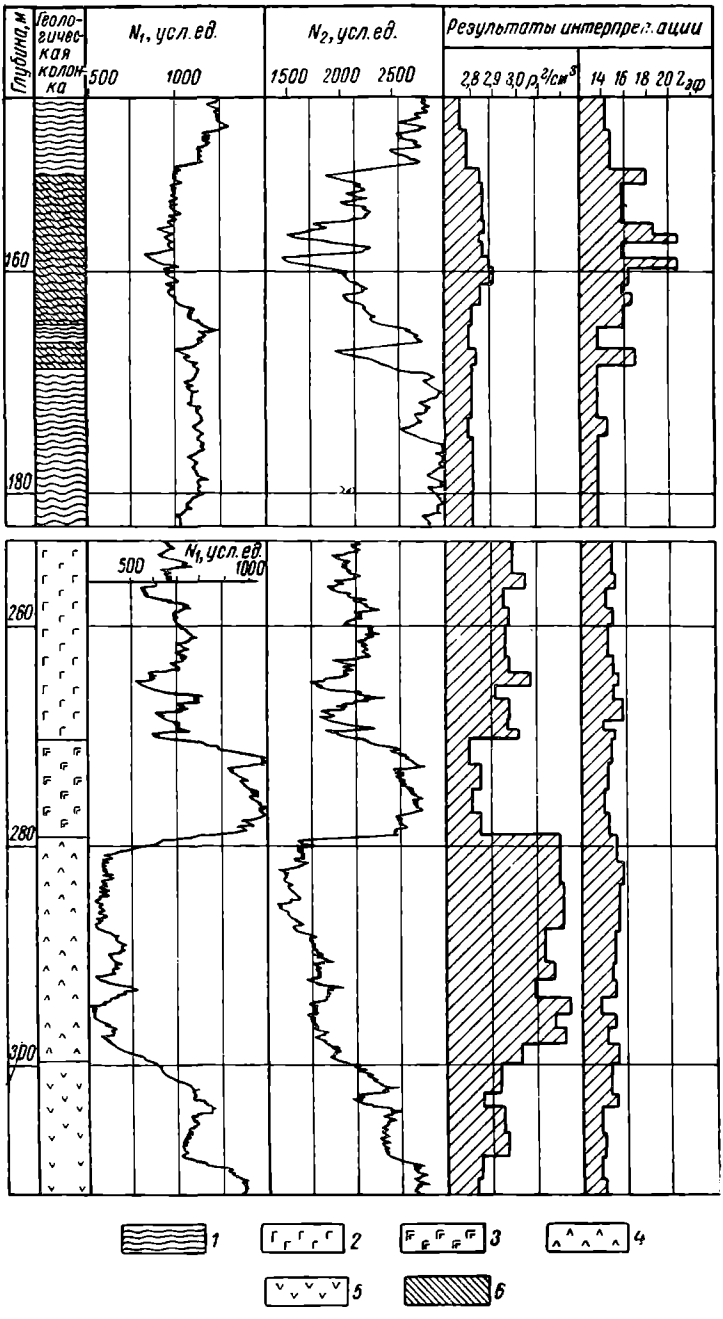


Рис. 2. Результаты ГГК на поисковом участке 21 Печенгского рудного поля:

1 — филлит; *2* — габбро; *3* — измененное габбро; *4* — пироксенит; *5* — перидотит; *6* — бедные руды

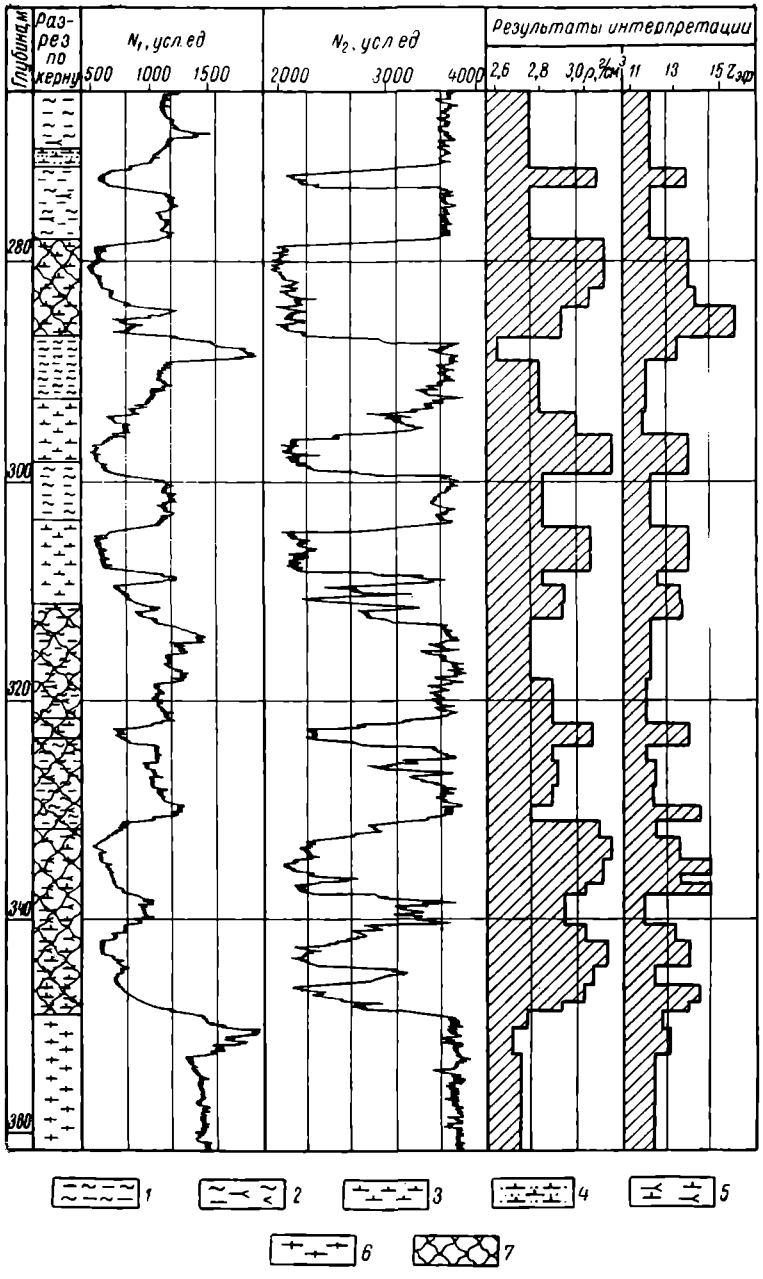


Рис. 3. Результаты ГГК на поисковом участке Алла-акка-Ярвинского рудного поля:

амфиболо-биотитовый гнейс; *2* — мигматизированный амфиболо-биотитогнейс; *3* — диопсидовый амфиболит; *4* — амфиболит; *5* — амфиболит мигматизированный; *6* — гранит; *7* — гранитизированная порода

Локализация медно-никелевого оруденения в пределах материнского ультраосновного массива обусловлена, с одной стороны, элементами внутренней структуры и формой дна интрузива (вкрапленные руды), с другой, постмагматическими наложенными структурно-тектоническими элементами (сплошные, брекчиевидные и прожилково-вкрапленные руды). Локализация брекчиевидных и сплошных сульфидных руд контролируется разрывными тектоническими нарушениями. Прожилково-вкрапленное оруденение во

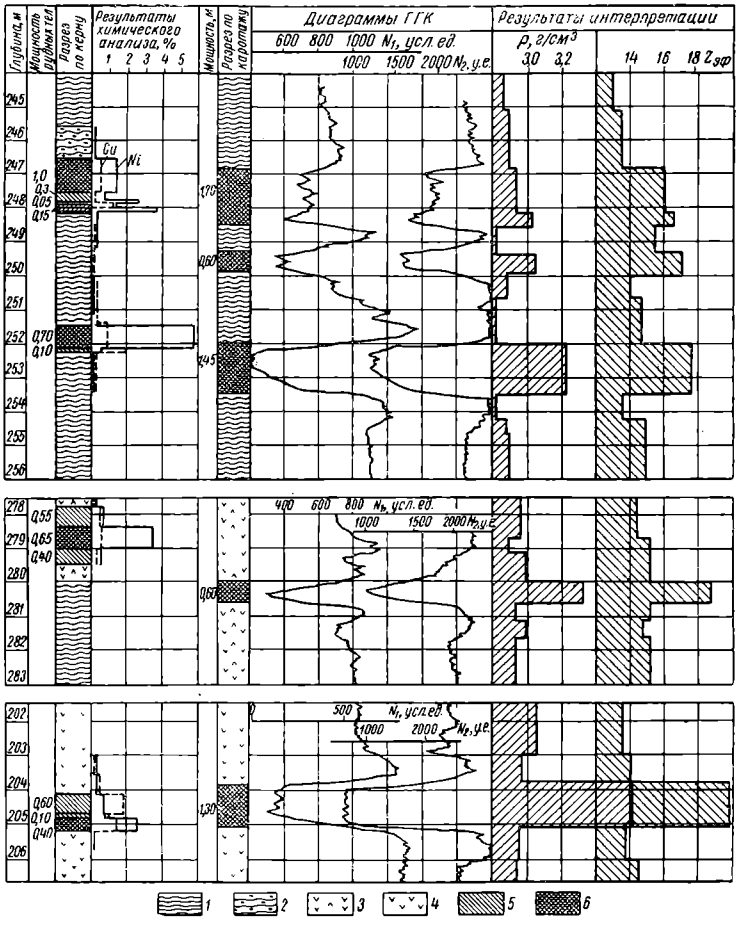


Рис. 4. Результаты каротажа рудных скважин Печенгского рудного поля:

1 — филлит; *2* — алевролит; *3* — измененная ультраосновная порода; перидотит; *5* — бедные руды (Ni менее 1%); *6* — богатые руды (Ni более

вмещающих туфогенно-осадочных породах развито в зоне экзоконтакта рудоносных массивов, где сульфиды заполняют многочисленные трещины отслоения и вторичной сланцеватости.

В районе Алла-акка-Ярвинского рудного поля преимущественно распространены породы кольской серии, представленные биотитовыми, амфиболовыми гнейсами и полевошпатовыми амфиболитами, интенсивно мигматизированными плагио- и плагиомикроклиновыми гранитами. Месторождение генетически и пространственно связано с межпластовыми ультраосновными интрузиями, залегающими с вмещающими их гнейсами и полевошпатовыми амфиболитами [7].

Изучение плотности пород Печенгского рудного поля в образцах и в естественном залегании методом ГГК-П (рис. 1—3) показывает, что величина плотности является в основном функцией минералогического состава породы, а также ее структурно-текстурных особенностей и до определенного предела практически не зависит от содержания рудных элементов. Последнее на первый взгляд противоречивое положение можно объяснить следующим образом.

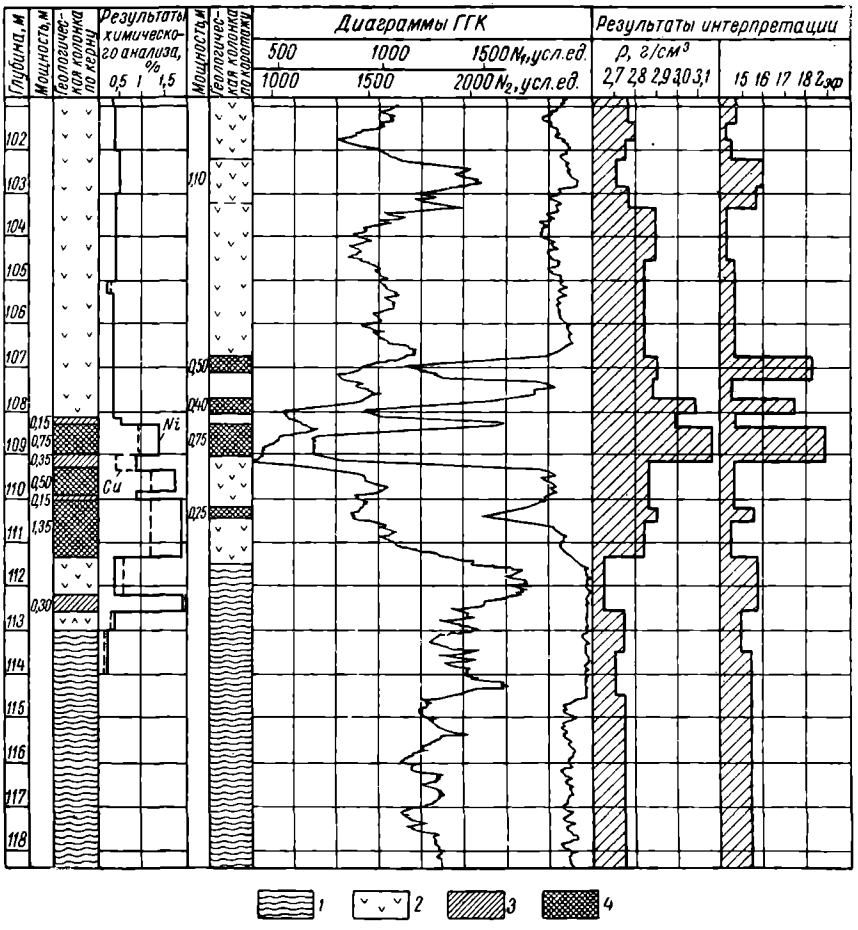


Рис. 5 Результаты каротажа рудной скважины Печенгского рудного поля:
1 — филлиты; *2* — перидотиты; *3* — бедные руды (Ni менее 1%); *4* — богатые руды (Ni более 1%)

Сульфидная минерализация пространственно тяготеет к тектонизированным зонам гидротермально измененных ультраосновных пород, где первичные силикаты с высоким удельным весом (оливин, пироксен) замещены вторичными с низким удельным весом (хлорит, серпентин, тальк, карбонаты). Рудные минералы выделяются на месте первичных силикатов, выполняют трещины и промежутки между зернами оливина и пироксена, компенсируя тем самым дефект плотности, имеющий место в зонах тектонических нарушений и гидротермально измененных пород.

Для оруденелых филлитов наблюдается та же закономерность — плотность породы почти не изменяется от присутствия рудных минералов (рис. 4—5) в связи с тем, что рудный метасоматоз проявляется в интенсивно смятых

и милонитизированных филлитах, причем сульфиды выделяются обычно на месте менее плотных алевритовых и песчанистых прослоев при относительной сохранности хлоритовых.

Благодаря указанным закономерностям, плотность руд при изменении содержания Ni от 0 до 0,2—0,3% не только не возрастает, но даже уменьшается на 0,1—0,2 *г/см*^{3} по сравнению с неизмененными породами. Дальнейшее накопление сульфидов приводит к росту плотности, так что для руд, содержащих более 1% Ni, характерна повышенная плотность, корреляционно связанная с содержанием Ni и Cu.

Эффективный атомный номер $Z_{эф}$, являясь функцией вещественного состава пород, в основном зависит от содержания в породах элементов с высоким атомным номером, в данном случае Fe, Ni, Cu, Ti. Содержания этих элементов в породах, не затронутых рудным соматозом, варьируют в относительно небольших пределах, что мало сказывается на величине $Z_{эф}$. Поэтому отдельные петрографические и литологические разности пород разреза Печенгского рудного поля характеризуются близкими значениями $Z_{эф}$.

Повышенное содержание рудных элементов заметно влияет на $Z_{эф}$, причем наблюдается прямая корреляционная связь между $Z_{эф}$ и содержанием в рудах Ni. Это создает предпосылки для выделения и классификации руд по типам оруденения с помощью $Z_{эф}$.

Плотность ρ и $Z_{эф}$ отличаются большой устойчивостью, поэтому при определении их с высокой точностью можно получить ценную информацию о многих геологических особенностях разреза.

Средние значения ρ и $Z_{эф}$ для основных типов пород и руд Печенгского района следующие:

	$Z_{эф}$	
Эффузивы основного состава	14,4	3,01
Габбро-диабазы	14,6	3,00
Филлиты	13,9	2,82
Перидотиты	14,7	2,87
Пироксениты	14,9	3,05
Габбро	14,8	3,08
Вкрапленные богатые руды	17,7	3,29
Вкрапленные бедные руды	15,9	3,02
Брекчиевые руды	18,6	3,55

Анализ результатов исследований, проведенных методом ГГК, показывает, что отдельные петрографические и литологические разности пород отчетливо фиксируются на диаграммах плотности (рис. 1, 2, 4, 5) при практически неизменных значениях $Z_{эф}$, отражая в основном вариации содержаний породообразующих окислов и текстурно-структурные особенности пород.

Зоны трещиноватости, милонитизации и гидротермального изменения пород на диаграммах каротажа выделяются понижениями плотности, причем, как правило, эти зоны отмечаются вблизи участков с сульфидной минерализацией (рис. 4, интервал 248,5—249,3 *м*; 250,6—252,0 *м*; рис. 1, интервал 250,0—252,6 *м*; рис. 5, интервал 111,3—112,2 *м*).

В Алла-акка-Ярвинском рудном поле скважиной пересечены контрастные по химическому составу породы — гранитоиды и амфиболиты, что в одинаковой степени сказывается на изменении плотности и эффективности атомного номера, так что оба параметра можно использовать для расчленения разреза (рис. 3).

Сопоставление данных каротажа методом ГГК с результатами химического анализа керновых проб показывает, что богатые руды (содержание Ni свыше 1%) выделяются однозначно по обоим параметрам, причем отме-

чается корреляционная связь между содержаниями Cu + Ni и ρ, $Z_{эф}$. Характер и сила связи между ρ и $Z_{эф}$, с одной стороны, и содержаниями Cu и Ni, с другой, отличны для разных типов руд. Так, в филлитах интервалы рудной минерализации выделяются более уверенно по величине $Z_{эф}$ при относительно небольших изменениях плотности (рис. 1, интервал 254—258 *м*; рис. 2, интервал 150—170 *м*), тогда как для вкрапленных и сплошных руд в перидотитах характерно закономерное возрастание $Z_{эф}$ и ρ в соответствии с интенсивностью сульфидной минерализации (рис. 4, интервал 203,8—205,1 *м*; 280,0—280,6 *м*). Брекчиевые руды фиксируются сравнительно высокими значениями $Z_{эф}$ при небольшом градиенте возрастания плотности (рис. 5, интервал 107,0—108,0 *м*).

Особый интерес представляет совместное использование данных по ρ и $Z_{эф}$ при выделении в разрезе участков с небогатой сульфидной минерализацией, обычно пространственно связанных с тектонизированными зонами и интенсивными проявлениями гидротермальных изменений пород. Выявление и прослеживание таких зон, являющихся поисковым критерием богатого оруденения, играет важную роль при корреляции разрезов скважин. На диаграммах каротажа эти горизонты фиксируются понижением плотности пород и повышением значений $Z_{эф}$ (рис. 4, интервал 203,0—203,9 *м*; рис. 5, интервал 102,0—103,2 *м*; интервал 111,2—112,4 *м*).

Первый опыт применения ГГК показал, что совместное рассмотрение двух важных параметров пород и руд — плотности и эффективного атомного номера позволяет более полно и всесторонне характеризовать геологический разрез.

Особенно интересные сведения получены при изучении зоны околорудных и тектонических изменений, являющихся важным поисковым признаком богатых руд.

Опыт успешного применения ГГК представляет интерес в связи с проектами глубокого бурения в районе Печенги. По нашему мнению, ГГК целесообразно включить в программу каротажных исследований глубокой скважины. При этом материалы, полученные в верхних частях разреза, являются хорошей основой для интерпретации ГГК на глубоких горизонтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арцыбашев В. А., Иванюкович Г. А., Поспелов С. Г. Комплексирование радиоактивных и электрических методов при каротаже скважин на медно-никелевых месторождениях Печенги. Изв. вузов. «Геология и разведка», 1969, № 2.

2. Арцыбашев В. А. О гамма-гамма-методе ядерной геофизики (новое направление в использовании гамма-полей для изучения горных пород). Изв. вузов. «Геология и разведка», 1969, № 3.

3. Арцыбашев В. А., Попов Э. П., Иванюкович Г. А. Об эталонировании аппаратуры гамма-гамма каротажа на среде одной плотности. В сб. «Вопросы разведочной геофизики». Вып. 7, Недра, 1968.

4. Арцыбашев В. А., Иванюкович Г. А. Зонды плотностного гамма-гамма-каротажа и контрольно-калибровочные устройства к ним. В сб. «Геофизическая аппаратура». Вып. 37, Недра, 1968.

5. Горбунов Г. И. Геология и генезис сульфидных медно-никелевых месторождений Печенги. Недра, 1968.

6. Увадьев Л. И. Туфогенно-осадочные породы рудного поля Печенги. Советская геология, 1968, № 7.

7. Богачев А. И., Горелов В. А. Некоторые черты структуры и оруденения Аллареченского сульфидного медно-никелевого месторождения. Геология рудных месторождений, 1968, № 2.