

## Интерпретация петроплотностных и геофизических данных по северной части неркаюского комплекса (Приполярный Урал)

Пономарева Т.А., Кушманова Е.В.

*Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, taponomareva@inbox.ru*

**Аннотация.** Проведены комплексные геологические, петрофизические и геофизические исследования пород северной части неркаюского комплекса Приполярного Урала. Измерены и статистически обработаны данные по плотности пород неркаюского комплекса. Проведена качественная интерпретация гравитационного поля. Установлена связь локальных аномалий с породами неркаюского комплекса, что позволило разделить породы неркаюского комплекса на две принципиально различные области: на северо-восточную, более «основную» и юго-западную – «сланцевую».

**Ключевые слова:** Приполярный Урал, неркаюский эклогит-сланцевый комплекс, плотность, неоднородности, гравитационное поле, интерпретация.

## Interpretation of petro-density and geophysical data in the northern part of the NerkaYu complex (the Subpolar Urals)

Ponomareva T.A., Kushmanova E.V.

*Institute of Geology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, taponomareva@inbox.ru*

**Abstract.** Comprehensive geological, petrophysical and geophysical studies of rocks have been provided in the northern part of the NerkaYu complex in the Polar Urals. Data on the density of rocks from the NerkaYu complex have been measured and statistically processed. Qualitative interpretation of the gravitation field has been provided. The relation between local anomalies and rocks of the NerkaYu complex has been traced to divide the NerkaYu complex rocks into two critically different areas, i.e. the north-eastern part with basic rocks mainly and the south-western «schistose» part.

**Keywords:** Subpolar Urals, NerkaYu eclogite-schist complex, density, inhomogeneities, gravitational field, interpretation.

### Введение

На севере Урала известно два эклогитсодержащих комплекса: неркаюский эклогит-сланцевый (Приполярный Урал) и марункеуский эклогит-гнейсовый (Полярный Урал) Неркаюский эклогит-сланцевый комплекс шириной 15 км расположен в северной части Приполярного Урала и заключен между двумя глубинными разломами: Эрепшорским на западе и Главным Уральским – на востоке. Исследуемый комплекс вытянут в северо-восточном направлении с юга на север по правобережью р. Хулги от ее крупного притока – р. Хальмерью до р. Бол. Тыкотлова на 80 км. Породы неркаюского комплекса граничат на западе с рифейскими вулканогенно-осадочными отложениями керегшорского комплекса, а на юго-востоке – с палеозойскими габбро и гипербазитами Олыся-Мусюрского массива. Неркаюский комплекс представлен разнообразными по составу метаморфизованными породами: слюдяными, хлоритовыми, амфиболовыми и глаукофановыми сланцами, амфиболитами и эклогитподобными породами (Вализер и др., 1988; Пыстин, 1994; Ремизов, 2006; Пыстин и др., 2014).

Исходным материалом для выполнения данных исследований послужили породы с северной части неркаюского комплекса, точнее с двух его участков: первый расположен на правобережье р. Неркаю, а второй – в междуречье рр. Бол. Хосая и Бол. Нядокота. Всего изучено 139 образцов пород, отобранных Кушмановой Е.В. под руководством Пыстина А.М. во время полевых геологических работ.

Настоящая работа посвящена анализу влияния петроплотностных характеристик на структуру гравитационного поля, которая, в свою очередь, содержит определенную информацию о взаимосвязи глубинных структур с поверхностными.

Весь комплекс геологических, петрофизических и геофизических работ проводился поэтапно. Предварительный этап заключался в составлении каталога данных о составе и физических свойствах пород северной части неркаюского комплекса. Второй этап связан с измерениями физических свойств (плотность) пород, данные по которым были обработаны статистическими методами (Дементьев и др., 1977). Анализ плотностных свойств позволил уточнить данные выборки, а также проверить их на статистическую однородность. В итоге для петрофизических исследований были отобраны только 97 образцов пород. На следующем этапе результаты интерпретации гравитационного поля дали возможность представить глубинное распределение плотностной дифференциации пород неркаюского комплекса в близповерхностном слое земной коры.

### **Методы исследований**

В данных исследованиях использовался стандартный комплекс интерпретации петрофизических (Добрынин, 1991) и геофизических данных. Измерения физических свойств пород проводились в лабораторных условиях Института геологии им. академика Н.П. Юшкина. Измеренные значения плотности пород обрабатывались методами математической статистики, в результате были построены вариационные кривые плотности, гистограммы, рассчитаны среднеарифметические значения плотности, среднеквадратичные отклонения (дисперсия), коэффициент вариаций, асимметрия, эксцесс и др. В дальнейшем породы были сгруппированы по общим (одинаковая петрографическая характеристика, вещественный состав, текстурно-структурные особенности, степень метаморфизма) и основным (плотность) признакам с последующим выделением основных петроплотностных групп пород.

Моделирование гравитационного поля сводилось к построению трансформированных полей, в основе которого заложен алгоритм послойного исключения аномальных составляющих  $\Delta g$  из наблюдаемого гравитационного поля (Маловичко и др. 1981) с использованием данных, полученных при петрофизических исследованиях и имеющейся геологической информации. Локальная гравитационная составляющая, используемая в данных исследованиях, рассчитывалась по методу Андреева-Гриффинга с радиусом осреднения 6 км с целью установления связи локальных аномалий с особенностями глубинного строения неркаюского комплекса в близповерхностном слое (2–3 км ниже земной поверхности). Алгоритм расчета локальной составляющей реализован в программе «GRAF» и успешно применяется нами при изучении глубинного строения севера Урала.

### **Обсуждение полученных результатов и выводы**

Неркаюский комплекс представлен метаморфическими породами различного состава. В составе высокобарических образований в большом количестве присутствуют продукты средне- и низкотемпературного изменения перечисленных выше пород: гранат-глаукофановые, эпидот-глаукофановые, актинолит-хлорит-эпидотовые и хлорит-мусковит-альбит-кварцевые сланцы, амфиболиты и эклогитподобные породы (ЭПП). ЭПП и амфиболиты составляют около 20 % комплекса и наблюдаются только в северной и средней частях комплекса (Пыстин, 1994).

*Эклогитподобная порода (ЭПП).* Светло- и темно-зеленого окраса, однородная и массивная порода имеет средне- и мелкозернистое строение, а также массивную, полосчатую и очковую, гранобластовую текстуру (Пыстин, 1994; Пыстин и др., 2014). Эклогитподобные породы ( $n=17$ ) характеризуются небольшим разбросом значений плотности от 3.13 до  $3.34 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup> (рис. 1). Гистограмма частот ( $Z$ ) показывает, что по главной моде 30 % образцов пород данной выборки попадает в интервалы плотности  $3.25\text{--}3.28 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Среднее рассчитанное значение плотности ЭПП соответствует значению  $3.26 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Левосторонний асимметричный вид кривой распределения частот с учетом незначительного отклонения  $\sigma_{\text{кн}}=0.07$  предполагают вероятность того, что при увеличении количества образцов следующей выборки средняя плотность будет попадать в пределы максимума.

*Амфиболиты.* Темно-зеленая мелко- и среднезернистая порода характеризуется массивной, полосчатой или линзовидно-полосчатой текстурой и гранобластовой структурой (Пыстин, 1994; Пыстин и др., 2014). Спектр вариаций плотности в выборке у амфиболитов ( $n=39$ ) существенно расширяется от 2.87 до  $3.27 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Среднее значение плотности амфиболитов соответствует

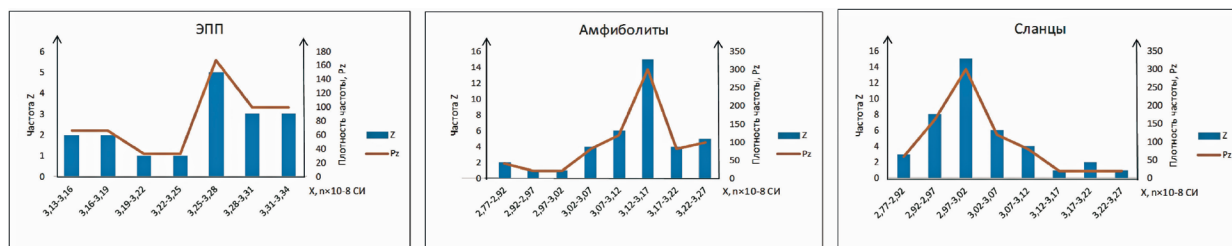


Рис. 1. Гистограммы (Z) и кривые распределения плотности частот (Pz) пород северной части неркаюского комплекса.

Fig. 1. Histograms (Z) and frequency density distribution curves (Pz) of rocks in the northern part of the Nerka complex.

значению  $3.13 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. На гистограмме частот наибольшее количество образцов попадает в интервал  $3.12\text{--}3.17 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Асимметричный график распределения частоты, также как и у амфиболитов, имеет левосторонний вид. Несмотря на сжатый и заостренный над центральной его частью вид распределения, коэффициент вариаций  $W=3.2\%$  и незначительное отклонение  $\sigma_{\text{Кн}}=0.1$  предполагает, что в большинстве случаев средние значения плотности амфиболитов будут попадать в пределы выделенного выше интервала.

Среди высокобарических образований комплекса самыми распространенными являются различные по составу сланцы. Они имеют полосчатую текстуру и среднезернистую структуру (Пыстин, 1994; Пыстин и др., 2014). Плотностная характеристика сланцев имеет самые широкие пределы вариаций плотности от  $2.62$  до  $3.02 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Среднее фактическое значение плотности сланцев для всей выборки ( $n=41$ ) равно  $2.76 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. На гистограмме частот видно, что свыше 30 % образцов попадают в интервал  $2.72\text{--}2.77 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Кривая плотности распределения пород имеет правосторонний асимметричный вид, коэффициент вариации при  $W=3.2\%$  и  $\sigma_{\text{Кн}}=0.07$ . Учитывая, что в выборке есть амфиболовые, эпидот-глаукофановые и альбит-эпидот-хлорит-актинолитовые сланцы с  $\rho_{\text{ср}} 2.94 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup> и слюдяные кристаллические сланцы с  $\rho_{\text{ср}} 2.73 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, которые составляют 90 % в данной выборке, то среднее фактическое значение плотности больше характерно для кристаллических сланцев.

В итоге на начальном этапе петрофизических исследований пород северной части неркаюского комплекса предварительно можно выделить три петроплотностные группы пород, представленные: эклогитподобными породами с  $\rho_{\text{ср}} 3.26 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; амфиболитами с  $\rho_{\text{ср}} 3.13 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup> и сланцами с  $\rho_{\text{ср}} 2.76 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Наш интерес к изучению петрофизических характеристик пород сводится к тому, что, когда мы подключаем геофизические методы исследования, то значения средних величин плотности для решения региональных геофизических задач вполне достаточно, тогда как для построения петрофизических карт требуется более дробное группирование пород. Полученная дифференциация плотности в метаморфических породах северной части неркаюского комплекса должна существенно отразиться на структуре гравитационного поля (Пономарева, 2020; Пономарева и др., 2021). Весь неркаюский комплекс находится в области положительного гравитационного поля (рис. 2а). Наиболее интенсивные положительные изометричные аномалии  $\Delta g_n$  свыше 40 мГал отмечаются над северо-восточной частью неркаюского комплекса, где, в соответствии с плотностными характеристиками, наиболее широко распространены породы основного состава (эклогитподобные породы, амфиболиты, амфиболитовые и глаукофановые сланцы, а также диафториты). Юго-западная часть комплекса представлена параллельными изолиниями  $\Delta g$ , интенсивность которых снижается в юго-восточном направлении, что связано с широким распространением здесь слюдяных кристаллических сланцев разного состава и низкотемпературных диафторитов по ним. Более уверенно разделение неркаюского комплекса на северо-восточную, более «основную» и юго-западную – «сланцевую», можно отследить в локальных полях  $\Delta g$  (рис. 2б).

В результате комплексной интерпретации геологических, петрофизических и геофизических данных удалось установить связь локальных аномалий с породами неркаюского комплекса. Про-

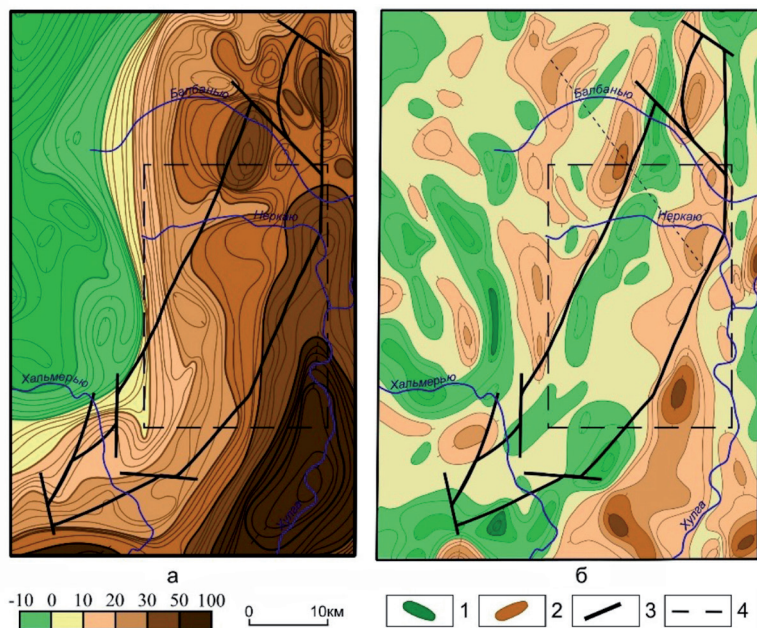


Рис. 2. Гравитационное поле над неркаюским эклогит-сланцевым комплексом: а – карта аномального гравитационного поля; б – локальных аномалий близповерхностного слоя верхней коры; 1–2 – аномалии: 1 – положительные; 2 – отрицательные; 3 – тектонические границы неркаюского комплекса и разломы; 4 – район исследований.

Fig. 2. Gravitational field over the Nerka eclogite-schist complex: а – map of the anomalous gravitational field; б – local anomalies of the near-surface layer of the upper crust. 1–2 – anomalies: 1 – positive; 2 – negative; 3 – tectonic boundaries of the Nerka complex and faults; 4 – research area.

анализировать распределение аномалеобразующих объектов в близповерхностном слое земной коры, что, в свою очередь, позволило разделить неркаюский комплекс на две принципиально различные области.

Авторы благодарны научному руководителю доктору геолого-минералогических наук Пыстину А.М. за внимание к данной работе, Шушкову Д.А. за помощь при проведении лабораторных исследований, Амосовой О.Е. за ряд существенных разъяснений по статистическим методам обработки данных.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (рег. номер 1021062211107-6-1.5.6; FUUU-2022-0085).

## Литература

1. Вализер П.М., Ленных В.И. Амфиболы голубых сланцев Урала. М. Изд-во: Наука. 1988. 203 с.
2. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика. М. Изд-во: Недра. 1991. С. 368.
3. Маловичко А.К., Тарунина О.Л. Использование высших производных при обработке и интерпретации результатов геофизических наблюдений. М. Изд-во: Недра. 1981. 186 с.
4. Пономарева Т.А. Структурные особенности эклогитсодержащих комплексов севера Урала по гравимагнитным данным // Вестник Пермского университета. Серия: Геология. 2020. № 1 (19). С. 25–37. DOI: 10.17072/psu.geol.19.1.25.
5. Пономарева Т. А., Пыстин, А. М. Структурные связи эклогитсодержащих комплексов севера Урала с кристаллическим фундаментом Печорской плиты // Вестник ВГУ. Серия: Геология. № 1. 2021. С. 65–74. https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3338.
6. Пыстин А.М. Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. М. Изд-во: Наука. 1994. 208 с.
7. Пыстин А.М., Кушманова Е.В., Потапов И.Л., Панфилов А.В. Неркаюский метаморфический комплекс Приполярного Урала // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. № 11. 2014. С. 22–27.
8. Ремизов Д.Н., Григорьев С.И., Григорьева Н.Г., Юдин В.В., Иванов В.Н., Феофилактов Ф.Н. Первичный состав и геодинамика Неркаюского комплекса и Лемвинсконо аллохтонов Приполярного Урала // Проблемы геологии и минералогии. Сыктывкар. Изд-во: Геопринт. 2006. С. 128–142.