

Результаты геолого-геофизических исследований неркаюского комплекса Приполярного Урала

©2025 Т. А. Пономарева[✉]

*Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
Первомайская 54, 167982, Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: на сегодняшний день среди исследователей имеются разногласия во взглядах на происхождение пород неркаюского комплекса, историю метаморфических и постметаморфических преобразований, их количество, последовательность и время проявления. Учитывая, что неркаюский комплекс относится к труднодоступным и плохо обнаженным районам, применение геофизических методов совместно с петрофизическими исследованиями представляется важным научно-исследовательским инструментом при изучении высокобарических метаморфических образований.

Методика исследований: плотность пород определялась методом гидростатического взвешивания с помощью лабораторных весов Меттлер Толедо на цельных образцах пород. Магнитная восприимчивость пород в порошковом виде измерялась на приборе KAPPABRIGE KLY-2 с точностью измерения 0.2–1 %. Петрографическое описание пород проводилось в поляризованных шлифах на поляризационном микроскопе Полам-215. Рудные минералы изучались на сканирующем электронном микроскопе Tescan VEGA3 LMН. Химический состав пород получен методом мокрой химии и комплексного метода мокрой химии и рентгенофлуоресцентного анализа. Интерпретация геофизического материала заключалась в комплексной интерпретации гравитационных, магнитных полей, а также трансформант, методом сопоставления, т.е. с помощью картографического наложения с использованием результатов петрофизического группирования пород.

Результаты, обсуждение и выводы: в процессе петрофизического группирования выделены шесть подгрупп пород с различными плотностными и магнитными свойствами. Основные петрофизические группы, представленные метабазитами и кристаллическими сланцами, были выделены по плотностным параметрам, вещественному составу и текстурно-структурным особенностям. В свою очередь, кристаллические сланцы делятся на образованные: по осадочным породам (парапородам) и основным магматическим образованиям (ортопородам). Изучение петроплотностных характеристик метабазитов и сланцев показали, что, в основном, они зависят от плотности первичного субстрата (протолита), по которым породы образованы. В отличие от плотности, магнитные свойства пород, имеют наложенный характер и зависят от количества и размерности зерен вторичного магнетита, развивающегося в процессеdiafтореза. Локальный характер распределения магнетита в пара- и ортопородах позволил выделить среди них немагнитные и магнитные разности.

Результаты качественной интерпретации геофизических данных позволили разделить неркаюский комплекс на две области: северо-восточную и юго-западную. В северо-восточной части, наиболее подверженной постметаморфическим (вторичным) процессам, по контурам локальных гравитационных и магнитных аномалий картируются площади неизмененных или слабоизмененных метабазитов на востоке и ферромагнитных, diaфторированных и метасоматически измененных амфиболитов на западе. В юго-западной части неркаюского комплекса, преимущественно пониженные значения гравитационного и магнитного полей наблюдаются над получившими широкое развитие



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Пономарева Татьяна Анатольевна, e-mail: taponomareva@inbox.ru

сланцами осадочного происхождения.

Приведенный пример геолого-геофизических исследований на неркаюском комплексе поможет специалистам, занимающимся вопросами реконструкций первичного состава и геодинамического положения метаморфических комплексов Севера Урала, расширить представление о взаимосвязи физических свойств пород с геофизическими полями и глубинном строении неркаюского комплекса.

Ключевые слова. Петрофизические параметры, геофизические поля, неркаюский комплекс, метабазиты, сланцы, минералы.

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

Для цитирования: Пономарева Т. А. Результаты геолого-геофизических исследований неркаюского комплекса Приполярного Урала // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2025. № 1. С. 89–101. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/1/89-101>

Введение

Метаморфический неркаюский эклогит-амфиболит-сланцевый комплекс расположен в северо-восточной части Приполярного Урала. В плане он имеет серповидную форму и протягивается с юга на север от р. Хальмерью до р. Тыкотлова на 85 км при ширине около 16 км (рис. 1.).

Познание природы метаморфических образований неркаюского комплекса всегда активно привлекало внимание геологов Урала [1–11]. Особенno это стало заметно после проведения в 1976–1979 гг. Тыкотловской ГСП крупномасштабных геологосъемочных работ в бассейнах рек Хальмерью и Балбанью на Приполярном Урале [3, 4].

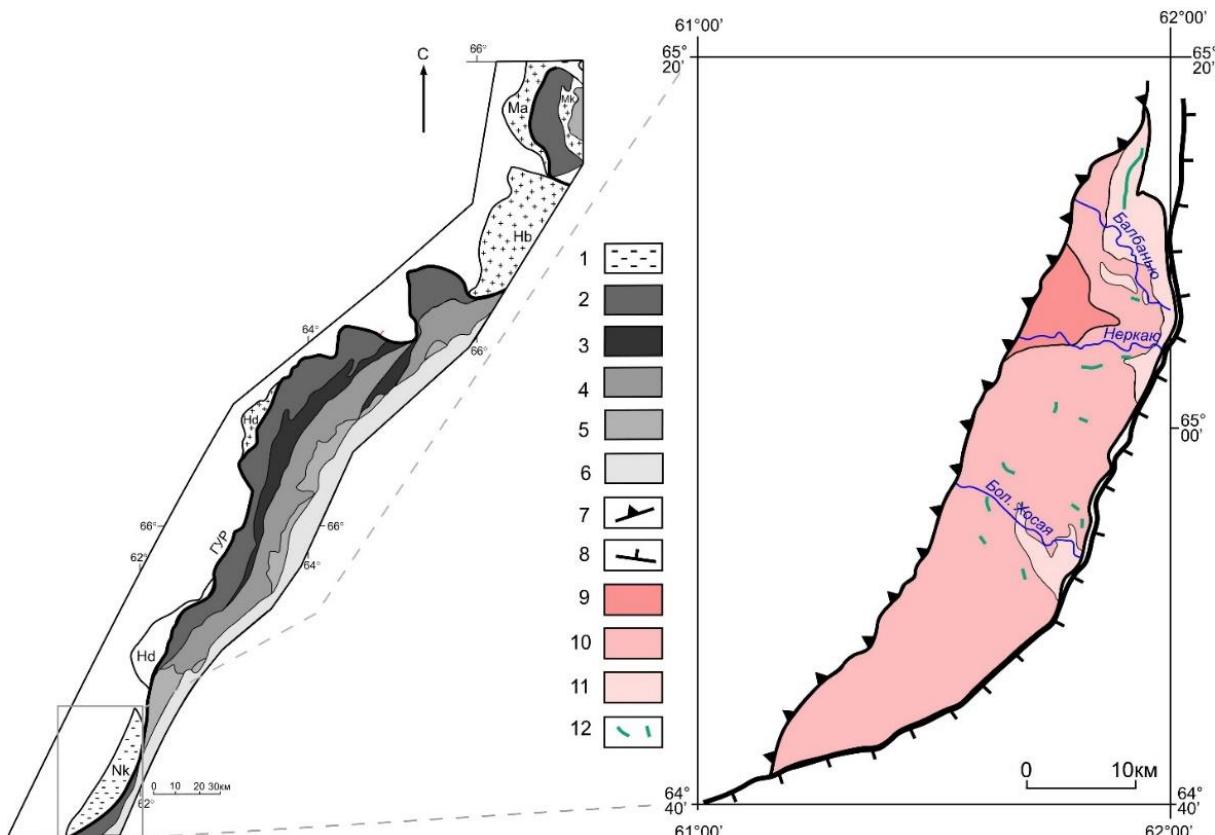


Рис.1. Схема расположения и геологическое строение неркаюского комплекса Приполярного Урала [19]. Условные обозначения: 1–5 – геологические комплексы севера Урала: 1 – неркаюский эклогит-амфиболит-сланцевый комплекс; 2 – войкаро-кемпир-сайский дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплекс плутонитов ($O-S_2$); 3 – базиты кершорского и лагортинского комплексов (O_3-S_1); 4 – гранитоиды собского и конгорского комплексов (S_2-D); 5 – вулканогенно-осадочные образования ($O-D$); 6 – мезозойско-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты; 7–8 (на врезке) – тектонические разломы (надвиги): 7 – Эрепшорский (западная граница неркаюского комплекса), 8 – Главный Уральский (восточная граница комплекса); 9–11 – неркаюский метаморфический комплекс, представленный кристаллическими сланцами, амфиболитами, эклогитами, кварцитами, гнейсами: 9 – верхняя подсвита ($PR_{1}nk_3$), 10 – средняя подсвита ($PR_{1}nk_2$), 11 – нижняя подсвита ($PR_{1}nk_1$); 12 – метагаброидный комплекс: дайки амфиболитов и эклогитов. Названия метаморфических комплексов: Nk – неркаюский, Hd – хордьюский, Hm – хараматалоуский, Nb – харбейский, Ma – марукеуский, Mk – малыкский.

[Fig. 1.] Location of metamorphic complexes of the northern Urals and geological structure of the Nerkayu complex [19]. Symbols: (1)–(5) – geological complexes of the northern Urals: (1) – Nerkayu eclogite-amphibolite-schist; (2) – Voykar-Kempirsay dunite-wehrlite-clinopyroxenite-gabbro complex of plutonites ($O-S_2$); (3) – mafic rocks of the Kershore and Lagorty complexes (O_3-S_1); (4) – granitoids of the Sob and Kongor complexes (S_2-D); (5) – volcanic-sedimentary formations ($O-D$); (6) – Mesozoic-Cenozoic cover of the West Siberian plate; (7)–(8) – tectonic faults (thrusts): (7) – western border of the Nerkayu complex (Erepshor fault), (8) – Main Ural fault (thrust); (9)–(11) (in the inset) – Nerkayu metamorphic complex, represented by crystalline schists, amphibolites, eclogites, quartzites, gneisses: (9) – upper subformation ($PR_{1}nk_3$), (10) – middle subformation ($PR_{1}nk_2$), (11) – lower subformation ($PR_{1}nk_1$); (12) – metagabro complex: dikes of amphibolites and eclogites. Names of metamorphic complexes: Nk – Nerkayusky, Hd – Khordjusky, Hm – Kharamatalousky, Hb – Kharbeysky, Ma – Marukeusky, Mk – Malyksky.]

В процессе геологического картирования восточная часть погурейской свиты нижнеордовикового возраста (pgO_1) была выделена в отдельный тектонический блок, заключенный между двумя глубинными разломами (надвигами): Эрепшорским на западе и Главным Уральским (ГУР) – на востоке. Породы неркаюского комплекса были представлены как полиметаморфические образования, неоднократно преобразованные в процессе нескольких этапов метаморфизма: наиболее ранний (высокобарический метаморфизм) проявился в палеопротерозое и связан с образованием метабазитов (эклогитов и амфиболитов), а низкотемпературные изменения породы испытали в процессе диафтореза в палеозойское время [8]. Вместе с тем высказывались и другие мнения, в частности о том, что породы могли быть метаморфизованы в амфиболовую фазу и диафторированы в допалеозойское время и уже потом подверглись процессам эклогитизации и последующей глаукофанизации [5, 6]. Еще одна группа исследователей считает, что неркаюский комплекс являлся частью аккреционной призмы, наиболее глубоко погруженной в зону субдукции [9]. Затем он был поднят на поверхность во время коллизии и срезан в присутственной зоне денудацией. Анализ публикаций последних лет указывает на то, что среди исследователей во взглядах на происхождение пород неркаюского комплекса, историю метаморфических и постметаморфических преобразований, их количество, последовательность и время проявления, имеются разногласия. Учитывая, что неркаюский комплекс относится к труднодоступным и плохо обнаженным районам, интерес к высокобарическим метаморфическим породам не ослабевает [12, 13], поэтому появилась необходимость в привлечении геофизических исследований [14–18].

В данной работе изложены результаты комплексных геолого-геофизических исследований, проведенных с учетом петрофизического группирования пород неркаюского комплекса. Детальные петрофизические исследования пород сопровождались их петрографическим описанием, анализом минерального состава и структурно-текстурных особенностей, что позволило выявить основные причины и закономерности изменения физических свойств в метаморфических образованиях. Задача интерпретации геофизических полей заключалась в расшифровке природы аномалий физических полей и их связи с физическими свойствами пород комплекса. В результате удалось уточнить внутреннее строение неркаюского комплекса и латерально выделить области распространения определенных пород с характерными петрофизическими параметрами.

Ранее петрофизическая неоднородность пород неркаюского комплекса была обнаружена в метабазитах неркаюского комплекса [18]. Например, статистический анализ удельной магнитной восприимчивости выявил деление метабазитов на немагнитные и магнитные разности. В петромагнитных разностях установлена четкая зависимость величины магнитной восприимчивости от содержания в породах определенных рудных минералов. Полученные новые данные одновременно указали на определенную схожесть в характере распределения удельной магнитной восприимчивости в амфиболитах и эклогитоподобных породах и на различие в причинах их изменчивости [18]. Важно отметить, что метабазиты составляют незначительную часть изучаемого комплекса, в основном, неркаюский комплекс на 80 % представлен кристаллическими сланцами различных составов. В связи с этим, целесообразным стало комплексное изучение пород с последующим представлением в обобщенном виде всех полученных геолого-геофизических данных по неркаюскому комплексу. Поэтому данная работа фактически является продолжением начатых ранее комплексных геолого-геофизических исследований, в которой наибольшее внимание будет уделено изучению кристаллических сланцев неркаюского комплекса [20].

Методы исследований

Петрофизические исследования проходили в несколько этапов. На первом этапе проведены измерения плотности (ρ) и удельной магнитной восприимчивости (χ_{ud}), затем была выполнена статистическая обработка измеренных значений и проведен анализ полученных результатов. Математический этап предусматривал построение вариационных кривых, гистограмм распределения плотности и магнитной восприимчивости. Также использовались некоторые числовые характеристики: среднее значение параметра (η), мода (Mo), медиана (Me), среднеквадратичные отклонения (σ), дисперсия (D), коэффициент корреляции (r), асимметрия (as). [21, 22, 23].

При выделении петрофизических групп и подгрупп использовался метод группирования, который учитывает химический и минеральный состав, а также петрографическое описание пород. Петрографические данные получали с поляризованных шлифов на поляризационном микроскопе Полам-215 [24]. Рудные минералы изучались на сканирующем электронном микроскопе Tescan VEGA3 LMH. Химический состав пород получен методом мокрой химии и комплексного метода мокрой химии и рентгенофлуоресцентного анализа.

Интерпретация геофизического материала заключалась в комплексной интерпретации магнитных и гравитационных полей, их трансформант, методом сопоставления, т.е. с помощью картографического наложения [25], с учетом результатов петрофизического группирования пород. Для наглядного представления о распределении определенных петрофизических групп пород в неркаюском комплексе по латерали были построены карта локальных аномалий Δg_L [26]. Карта-схема локального поля, вычисленной по методу Андреева-Гриффина ($R=6$ км), отражает распределение аномалей образующих тел в близповерхностном слое (2–3 км ниже земной поверхности). Качественная интерпретация аномального магнитного поля заключалась в изучении морфологии магнитных аномалий, различающихся по знаку, интенсивности, форме и простиранию. При выполнении качественной интерпретации основное внимание уделялось: магнитным аномалиям (ΔT_a), отвечающим породам с контрастными физическими свойствами; закономерностям их размещения по отношению к участкам проявления вторичных процессов (диафторез, метасоматоз) и приуроченности их кtektonически ослабленным зонам.

В измерениях использован каменный материал из геологической коллекции Кушмановой Е. В. собранной во время полевых работ (2012, 2014 гг.) на неркаюском комплексе. Всего в измерениях участвовало 105 образцов пород.

Результаты и их обсуждение

В ранних работах для систематизации петрофизических данных по неркаюскому комплексу привлекались материалы Комигеолфонда и научных публикаций, отражающие результаты региональных геолого-геофизических исследований [14, 15, 16]. Полученные результаты позволили отнести геологический разрез неркаюского комплекса к сильно дифференцированному петрофизическому типу, в котором плотность и магнитная восприимчивость пород меняется вверх по разрезу [27]. Проведение детальных петрофизических исследований с учетом их петрографического описания, минерального состава и изучения их текстурно-структурных особенностей позволили выделить из всего многообразия метаморфических образований неркаюского комплекса шесть подгрупп пород, отличающихся своими петроплотностными и петромагнитными характеристиками. В обобщенном виде результаты комплексной интерпретации физических свойств пород представлены в таблице. Как видно из таблицы, метаморфические породы неркаюского комплекса разделились на три петрофизические группы (I-III) пород, различные по составу, текстурно-структурным особенностям и плотности, а также шесть петромагнитных разновидностей пород, отличающихся своими магнитными свойствами (Табл. 1).

Табл. 1. Петрофизическое группирование пород неркаюского комплекса
[Table. 1. Petrophysical grouping of rocks of the Nerkayu complex]

Петроплотностные группы [Petrodensity groups]	Петрофизические характеристики пород [Petrophysical characteristics of rocks]					
	Петромагнитные подгруппы [Petromagnetic subgroups]					
	I	Немагнитные [non-magnetic]		Магнитные [magnetic]		
		a	$\rho > 3.00 \times 10^3$ кг/м ³ $\chi_{vo} < 100 \times 10^{-8}$ ед. СИ	b	$\rho \geq 3.00 \times 10^3$ кг/м ³ $\chi_{vo} \geq 100 \times 10^{-8}$ ед. СИ	
	II	a	$(2.78 < \rho < 3.00) \times 10^3$ кг/м ³ $\chi_{vo} < 100 \times 10^{-8}$ ед. СИ	b	$(2.78 < \rho \leq 3.00) \times 10^3$ кг/м ³ $\chi_{vo} > 100 \times 10^{-8}$ ед. СИ	
	III	a	$\rho < 2.78 \times 10^3$ кг/м ³ $\chi_{vo} < 100 \times 10^{-8}$ ед. СИ	b	$\rho > 2.78 \times 10^3$ кг/м ³ $\chi_{vo} > 100 \times 10^{-8}$ ед. СИ	

Примечание: В таблице греческими буквами ρ и χ_{vo} обозначены плотность и удельная магнитная восприимчивость пород, соответственно.

[Note: In the table, the Greek letters ρ and χ_{vo} indicate the density and specific magnetic susceptibility of rocks, respectively.]

Петрофизическая и петрографическая характеристики метабазитов неркаюского комплекса. В неркаюском комплексе немногочисленная группа метабазитов (20 % всех пород) представлена амфиболитами и эклогитотоподобными породами (таблица; I, a-b). Для них характерны плотности выше среднего значения 3.00×10^3 кг/м³ по выборке. Среди метабазитов наибольшие вариации плотности $(2.87-3.27) \times 10^3$ кг/м³ установлены у амфиболитов ($n=39$). Среднее значение плотности этих пород (3.13×10^3 кг/м³) не выходит за границы максимума вариационной кривой, заключен-

ного в пределах $(3.12-3.17) \times 10^3$ кг/м³ (рис. 2а). Самые высокие значения плотности характерны для неизмененных амфиболитов с массивной текстурой. Такие показатели плотности обеспечиваются за счет содержания высокоплотных минералов (в об. %): амфибол (30–45), плагиоклаз (10–50), гранат (15–30). Коэффициент вариации ($W=3.2$ %), незначительное отклонение ($\sigma=0.1$) и правая асимметрия (рис. 2а) указывают на наличие процесса разуплотнения амфиболитов, которое связано с развитием хлоритизации и окварцевания пород. Лишь отдельные образцы сильноизменен-

ных при метасоматозе амфиболитов сохраняют высокую плотность за счет обогащения пород высокоплотными рудными минералами.

Пределы изменения плотности у эклогитоподобных пород ($n=17$) значительно сужают рамки вариативности и характеризуются небольшим разбросом ее значений $(3.13-3.34) \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ (рис. 2б).

На рис. 2б отчетливо выделяется одна мода с интервалами $(3.25-3.28) \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Среднее значение плот-

ности по выборке ЭПП соответствует значению $3.26 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Числовые характеристики распределения плотности, незначительный коэффициент вариации ($W<10 \%$), среднеквадратичное отклонение ($\sigma=0.07$), слабовыраженная правая асимметрия указывают на то, что выборка у эклогитоподобных пород статистически более однородна по плотности по сравнению с амфиболитами (рис. 2).

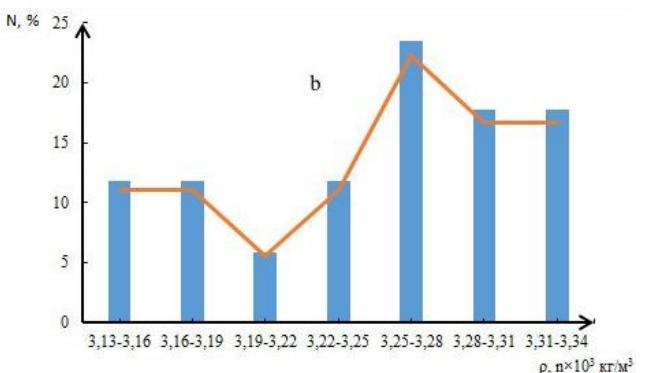
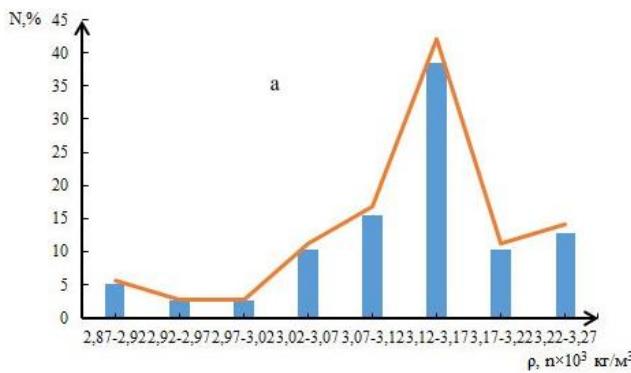


Рис. 2. Гистограммы и вариационные кривые плотности (a – амфиболиты; b – эклогитоподобные породы).

[Fig. 2. Histograms and density variation curves: (a) – amphibolites; (b) – eclogite-like rocks.]

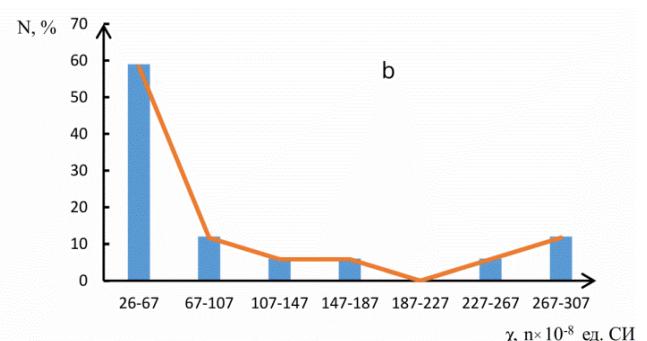
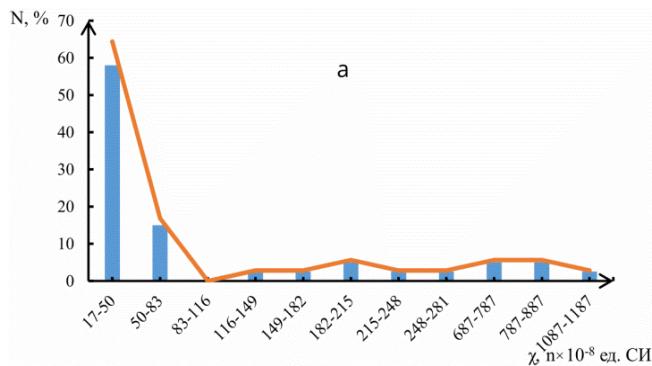


Рис. 3. Гистограммы и вариационные кривые удельной магнитной восприимчивости (a – амфиболиты; b – эклогитоподобные породы).

[Fig. 3. Histograms and variation curves of specific magnetic susceptibility ((a) – amphibolites; (b) – eclogite-like rocks).]

Анализ магнитных свойств метабазитов показал (рис. 3), что построенные гистограммы и вариационные кривые удельной магнитной восприимчивости у амфиболитов и эклогитоподобных пород имеют общую закономерность в распределении магнитного параметра с резким снижением частот в сторону повышения его значений. Для определения причин крайне асимметричного распределения χ_{y_0} основное внимание при петрографическом описании было направлено на минералогический состав, в частности на содержание ферромагнитных минералов (магнетита, титаномагнетита) в породах, а также на их текстурные и структурные особенности.

Магнитные свойства амфиболитов, как и значения плотности, меняются в широких пределах $(16.85-1176) \times 10^{-8} \text{ ед. СИ}$. На гистограмме распределения удельной магнитной восприимчивости (рис. 3, а) выделяются три интервала. Максимум вариационной кри-

вой имеет вариации χ_{y_0} в пределах $(16.85-74.75) \times 10^{-8} \text{ ед. СИ}$ (Табл. 1; I, а). Наибольшее количество образцов представляют слабомагнитные неизмененные амфиболиты, рудные минералы в которых представлены ильменитом (менее 1%). Ильменит практически полностью замещается рутилом, а рутил, в свою очередь, – титанитом. Для слабомагнитных разностей характерны пониженные содержания оксидов Na_2O около 2.5 % и Fe_2O_3 до 2.7–5.2 %.

Два последующих интервала $\chi_{y_0} (123.5-273.5) \times 10^{-8} \text{ ед. СИ}$ и $(687-863) \times 10^{-8} \text{ ед. СИ}$ представлены в разной степени измененными амфиболитами (Табл. 1; I, б). Магнитные очковые, альбитизированные амфиболиты имеют повышенное содержание оксидов Na_2O – до 4.2 % и Fe_2O_3 – до 8 % по сравнению с породами немагнитной группы. Повышенные магнитные свойства обеспечиваются за счет увеличения количества магнетита 1–8 % и титаномагнетита 1–5 % в этих породах. Мелкие

зерна (до 0.1 мм) магнитных минералов распределены локально в общей массе породы и концентрируются на границе порфиробластового альбита. Более крупные (0.1–0.4 мм) зерна содержатся в виде включений в альбите, а также развиваются совместно с ним по прожилкам. В некоторых образцах пород, где наблюдается активное развитие хлорита и карбоната, количество магнетита и титаномагнетита увеличивается до 6–8 %. Самые высокие значения удельной магнитной восприимчивости (свыше 687×10^{-8} ед. СИ) наблюдаются в сильно измененных окварцованных и перекристаллизованных амфиболитах. В этих породах крупные и мелкие зерна кварца развиваются по отдельным прожилкам и линзовидным обособлениям, а могут равномерно распределяться по породе. В качестве рудных минералов выступают ильменит (1–2 %) и магнетит (до 12 %).

Изучение магнитных свойств амфиболитов показывает, что рост магнитной восприимчивости связан и зависит от степени проявления вторичных процессов (окварцевания, альбитизации, хлоритизации и карбонатизации), которые сопровождаются образованием ильменита, магнетита и титаномагнетита в породах.

Пределы удельной магнитной восприимчивости эклогитоподобных пород ($n=17$) изменяются в пределах $(26\text{--}307) \times 10^{-8}$ ед. СИ. Как видно на рис. 3в эти породы имеют схожий с амфиболитами характер распределения значений $\chi_{\text{уд}}$, только с существенно меньшими пределами вариаций. В диапазон моды $(26.38\text{--}74.75) \times 10^{-8}$ ед. СИ попадают слабомагнитные кварц-гранат-амфиболомфацитовые породы. Средняя намагниченность $(144.56\text{--}273.39) \times 10^{-8}$ ед. СИ зафиксирована у пироксен-гранат-эпидот-амфиболовых образований и связана с повышенным количеством эпидота в породах [18].

В процессе изучения физических свойств метабазитов установлено незначительное снижение плотности у амфиболитов от вторичных процессов. Это заметно в слабо измененных амфиболитах вследствие замещения высокоплотного ильменита рутилом и благодаря развитию альбита с плотностью $(2.61\text{--}2.63) \times 10^3$ кг/м³ в породах (рис. 2б). Наряду с этим, плотностные потери у метабазитов могут компенсироваться за счет развития в большом количестве высокоплотных минералов. Например, у эпидотизированных эклогитоподобных пород плотность возрастает свыше 3.30×10^3 кг/м³ за счет увеличения количества эпидота до 20 %, который вместе с ильменитом и альбитом локализуются в отдельные прослои (прожилки). Дифференциация магнитных свойства также заметнее проявилась у амфиболитов и зависит от количества магнетита, образованного в процессе дифтореза и метасоматоза. Сильно измененные амфиболиты в минералогическом составе имеют до 12 % магнетита (Табл. 1; I, б). Условная граница разделения метабазитов на немагнитные (неизмененные) и магнитные (метасоматически измененные) проходит по значению $\chi_{\text{уд}}$ равное 100×10^{-8} ед. СИ и зависит от содержания тех или иных рудных и акцессорных минералов (рис. 4). В свою очередь, измененные амфиболиты по процентному содержанию оксидов натрия и

железа подразделяются на слабоизмененные и сильно измененные [18].

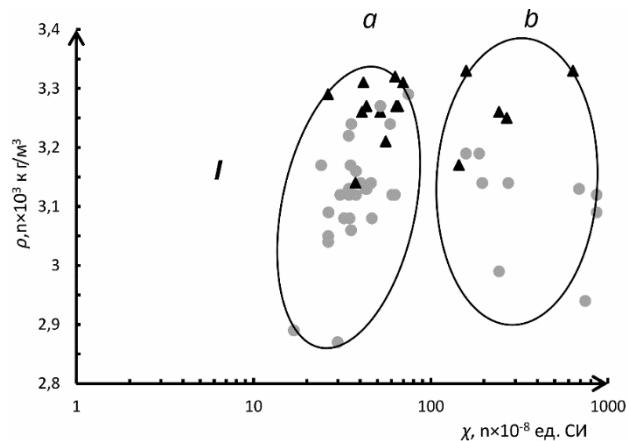


Рис. 4. Диаграмма зависимости плотности и магнитной восприимчивости метабазитов (амфиболиты – в кружках; ЭПП – в треугольниках) неркаюского комплекса.

[Fig. 4. Diagram of the dependence of density and magnetic susceptibility of metabasites (amphibolites – in circles; EPP – in triangles) of the Nerkayu complex.]

Петрофизическая и петрографическая характеристики сланцев неркаюского комплекса. Комплексные петрофизические и петрографические исследования кристаллических сланцев ($n=41$) указывают на то, что они, как и метабазиты, неоднородны по плотностным и магнитным свойствам. Широкий диапазон вариаций плотности различных по составу пород заключен в пределах $(2.62\text{--}3.02) \times 10^3$ кг/м³ и характеризуется бимодальной кривой распределения (рис. 5а).

Наибольшее количество сланцев попадает в первый максимум, заключенный в пределах $(2.72\text{--}2.77) \times 10^3$ кг/м³. Значение ρ_{η} для всей выборки составляет 2.78×10^3 кг/м³. Левая асимметрия, низкий коэффициент вариации $W=3.2$ % с незначительным среднеквадратичным отклонением $\sigma K_n=0.07$ свидетельствуют о незначительной неоднородности выборки. По данным статистического анализа главный максимум вариационной кривой представляют самые распространенные в комплексе гранат-кварц-клиноцизит-амфибол-хлорит-мусковит-альбитовые сланцы. По петрографическим данным, они состоят (в об. %): из мусковита (10–30), альбита (10–40), кварца (10–15), амфибала (глаукофана, барруазита, винчита?) (3–15), хлорита (5–20), клиноцизита (2–10), граната (1–10), апатита (1), рутила (1–3), магнетит и ильменит встречаются в единичных зернах. Количественные соотношения между этими минералами непостоянны. Сланцы имеют нематолепидогранобластовую, порфиробластовую, мелко-среднезернистую структуру, сланцеватую или очковую текстуру. Сланцеватую текстуру породы формируют чешуйки мусковита размером 1.5–2 мм, вытянутые в едином направлении. Частичное (по краям минерала) или полное замещение амфибала хлоритом способствует понижению плотности до 2.62×10^3 кг/м³ (рис. 5а). Магнетит практически не встречается или встречается редко в виде мелких зерен размером до

0.1 мм, поэтому эти сланцы практически немагнитны ($10\text{--}56 \times 10^{-8}$ ед. СИ (рис. 5б). Они занимают в таблице нижнее левое положение (III, а). Также в отдельных шлифах этих сланцев наблюдаются участки (прослои, прожилки, изометричные обособления), выполненные зернами крупночешуйчатого хлорита и кварца, а также магнетита, зерна которого имеют размеры от 0.1 до 0.2 мм. Соответственно, в окварцованных и хлоритизированных сланцах с магнетитом происходит рост удельной магнитной восприимчивости (III, б), которая варьирует в пределах $(148\text{--}240) \times 10^{-8}$ ед. СИ (рис. 5б). В процессе замещения высокоплотных минералов (амфибола) на минералы с низкоплотностными свойствами (кварц, хлорит), плотность сланцев остается постоянной благодаря образованию рудных минералов, таких как рутил, титаномагнетит, магнетит. Важно отметить, что кварц (в большей степени) и хлорит являются наложенными минералами по отношению к другим породообразующим составляющим. Петрографические и петро-

химические данные указывают на то, что эта группа кристаллических сланцев (парасланцы) имеет первично осадочный генезис [13]. Немагнитную подгруппу пород также представляют гранат-мусковитовые пластигнейсы с хлоритом (или без хлорита). Порода состоит (в об. %): из кварца (30–40), альбита (20–25), хлорита (10), мусковита (10–15), граната (1), титанита (менее 1), рутила (1) сульфидов и ильменита (1–2). Они имеют лепидогранобластовую, мелко-среднезернистую структуру, сланцеватую или гнейсовидную текстуру. В минеральном составе гнейсоподобных кристаллических сланцев отсутствуют ферромагнетики. В качестве рудного минерала в незначительных количествах выступает ильменит. По петрофизическим характеристикам (II, а) у них отмечаются повышенные значения плотности, которые варьируют в пределах $(2.78 < \rho \leq 3.00) \times 10^3$ кг/м³, и низкие показатели удельной магнитной восприимчивости менее 100×10^{-8} ед. СИ (Табл. 1).

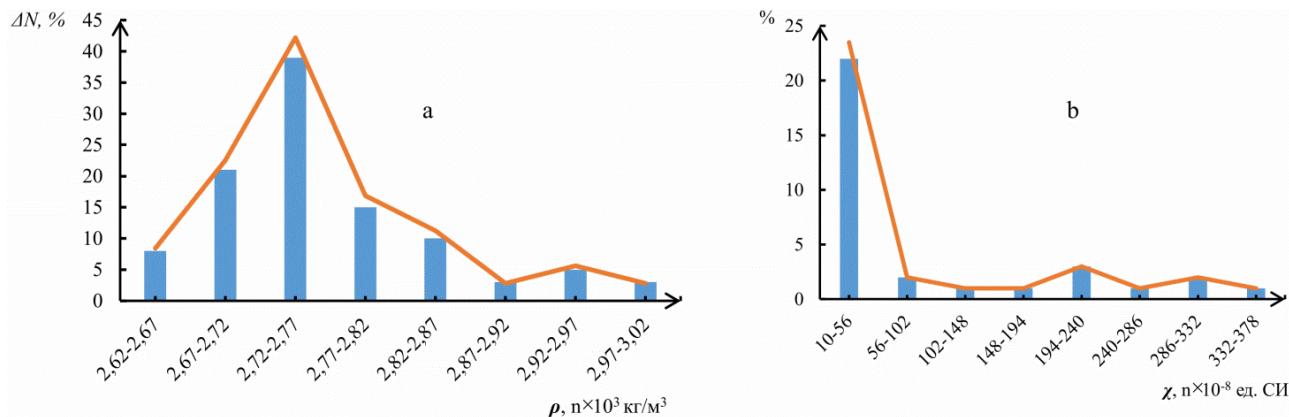


Рис. 5. Гистограммы и вариационные кривые плотности (а) и магнитной восприимчивости (б) сланцев неркаюского комплекса.

[Fig. 5. Histograms and variation curves of density (a) and magnetic susceptibility (b) of schists of the Nerkayu complex.]

Среди исследуемых сланцев встречаются породы подгруппы основного состава, представленные кварц-хлорит-мусковит-глаукофан-карбонатными породами и кварц-клиноцизит-хлорит-амфибол-альбитовыми сланцами. Данная петрофизическая подгруппа характеризуется более высокими плотностями и средней, редко очень сильной, намагниченностью. В таблице разновидности этих сланцев занимают среднее правое положение – II, б.

Кварц-хлорит-мусковит-глаукофан-карбонатные сланцы состоят (в об. %): из амфибала (глаукофана) (20–30), альбита (0–2), хлорита (10), мусковита (5–10), карбоната (20–50), рутила (1) ильменит и магнетит (1–2). Они имеют лепидогранобластовую, средне- и крупнозернистую порфиробластовую структуру, неравномерную сланцеватую или массивную текстуру. В породе развиваются крупные порфиробласти карбоната размером до 1 см, между которыми развиваются мелкие зерна (до 1 мм) глаукофана, кварца, хлорита и мусковита. Благодаря присутствию в небольшом количестве рудных минералов

удельная магнитная восприимчивость превышает значение 100×10^{-8} СИ, у отдельных образцов магнитная восприимчивость может варьировать в пределах $(122\text{--}287) \times 10^{-8}$ ед. СИ.

В этой же петрофизической подгруппе находятся сланцы кварц-клиноцизит-хлорит-амфибол-альбитового состава, по сути являющиеся хлоритизированными и окварцованными амфиболитами. В их составе развиваются рудные минералы магнетита или титаномагнетита в виде зерен размером до 1 мм, а также титанита – в виде отдельных полос. У амфиболитовых сланцев значения χ_{y0} распределены в рамках вариаций $(286\text{--}378) \times 10^{-8}$ ед. СИ (рис. 5б). Самые высокие содержания до (5 %) и крупные зерна магнетита наблюдаются в хлоритизированных, окварцовых и эпидотизированных амфиболитах. Эти частично или полностью перекристаллизованные амфиболиты резко отличаются своими плотностными (ρ может достигать отметки 3.30×10^3 кг/м³), и магнитными свойствами, где χ_{y0} увеличивается до 2866×10^{-8} ед. СИ.

В результате анализа петрофизических характеристик сланцев отмечаются схожие с метабазитами закономерности изменения физических параметров (рис. 6). Разделение сланцев по плотности условно проходит по значению $\rho_{\eta} 2.78 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$, и обусловлено в основном породообразующимися минералами протолита и, в меньшей степени, структурно-текстурными особенностями пород. Кристаллические сланцы, образованные по осадочным породам (парапородам), имеют значения плотности до $2.78 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Сланцы, сформированные

по первично-магматическим образованиям (ортопородам), отличаются повышенными значениями плотности, выше $2.78 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ (рис. 6). Деление сланцев на магнитные и немагнитные так же, как и у метабазитов, условно проходит по значению удельной магнитной восприимчивости $100 \times 10^{-8} \text{ ед. СИ}$. Высокую магнитную восприимчивость сланцы имеют только при локальном обогащении вторичным магнетитом, а его количество зависит от интенсивности проявления метасоматических процессов, в частности диафторез.

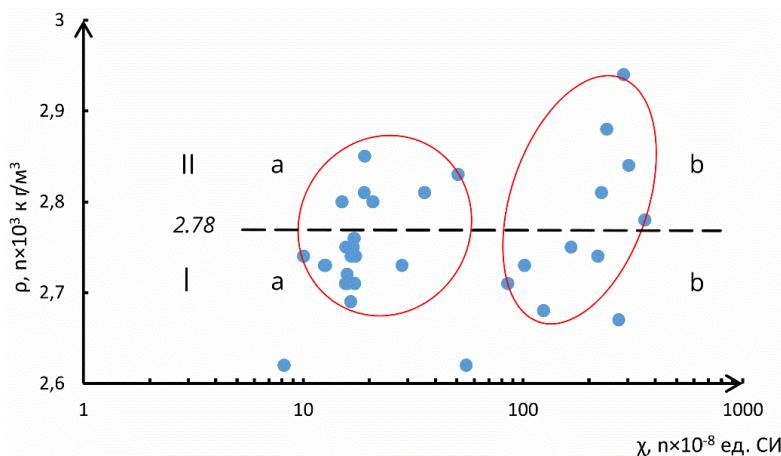


Рис. 6. Диаграмма зависимости плотности и магнитной восприимчивости сланцев неркауского комплекса.

[Fig. 6. Diagram of the dependence of density and magnetic susceptibility of shales of the Nerkay complex.]

Интерпретация геофизических полей. Все выявленные при петрофизических исследованиях особенности и закономерности в породах неркаусского комплекса отражаются в гравитационном и магнитном полях (рис. 7). На фоне в целом положительного гравитационного поля над неркаусским комплексом, в северо-восточном его секторе, наблюдается (пунктирными линиями) небольшие максимумы силы тяжести (рис. 7a). В локальном поле силы тяжести ($\Delta g_{\text{л}}$), отражающем распределение плотностных неоднородностей на глубине около трех километров от земной поверхности, происходит разделение неркаусского комплекса на северо-восточную и юго-западную области (рис. 7b). Для северо-восточной области характерны сложные по морфологии геофизические поля.

На рис. 7b вдоль восточной границы линейно вытянутая положительная аномалия $\Delta g_{\text{л}}$, отчетливо выделяет область распространения метабазитов, над которыми наблюдается отрицательное магнитное поле (рис. 7c). По петрофизическим данным аномалиям геофизических полей отвечают породы с высокими показателями плотности (свыше $3.00 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$) и пониженной удельной магнитной восприимчивостью (менее $100 \times 10^{-8} \text{ ед. СИ}$). В геологической трактовке выделенная область ассоциируется с “эклогитовым поясом”, распространяющимся вдоль ГУРа (надвига). Подтверждением тому могут служить образцы пород, отобранных с береговых обнажений р. Большая Нядокота, а также с района выс. Максимка-Нюр, находящегося на правобережье р. Нерка [8, 9]. Важно отметить, что на рис. 7d на схематической карте намагниченности пород, рассчитанной по графикам аномального магнитного поля (ΔT_a) [28], автором статьи пунктирной линией выделена узкая линейная зона повышенных значений J , вероятно обу-

словленная ограниченным развитием здесь диафторированных амфиболовых сланцев (I, b). Выделенная положительная зона повышенных значений намагниченности пород не отражается в аномальном магнитном поле (рис. 7c), что, по-видимому, подтверждает локальность процесса обогащения ортопород магнетитом в зонах тектонических нарушений.

С западной стороны комплекса наблюдаются схожие изменения в характере геофизических полей, в частности магнитного. Границы положительных магнитных аномалий неправильной формы (рис. 7c), достигающие интенсивности до 300 нТл, выделяют площади распространения измененных при вторичных процессах ортопород. По геологическим [8, 9] и петрофизическим данным причиной неоднородного характера магнитного поля является переслаивание на отдельных участках распространения глаукофановых кристаллических сланцев (I, b) с кварц-клиноцизит-хлорит-амфибол-альбитовыми сланцами (III, b), образованные по осадочным породам. Также среди них могут встречаться прослои кварц-хлорит-мусковит-глаукофан-карбонатные сланцы (II, b). На рис. 7d две области с повышенными магнитными свойствами пород, выделенные автором статьи, разделены центральной линейной зоной распространения предположительно немагнитных гранат-кварц-клиноцизит-амфибол-хлорит-мусковит-альбитовыми сланцами и гранат-мусковитовыми плагиогнейсами (II, a). Крайние западная и восточная части на севере неркауского комплекса относятся к ослабленным тектоническим зонам – Эрепшерскому и Главному Уральскому разломам (надвигам), где активно проявлялся низкотемпературный диафторез, который и является основной причиной изменения магнитных свойств пород северо-восточной части комплекса.

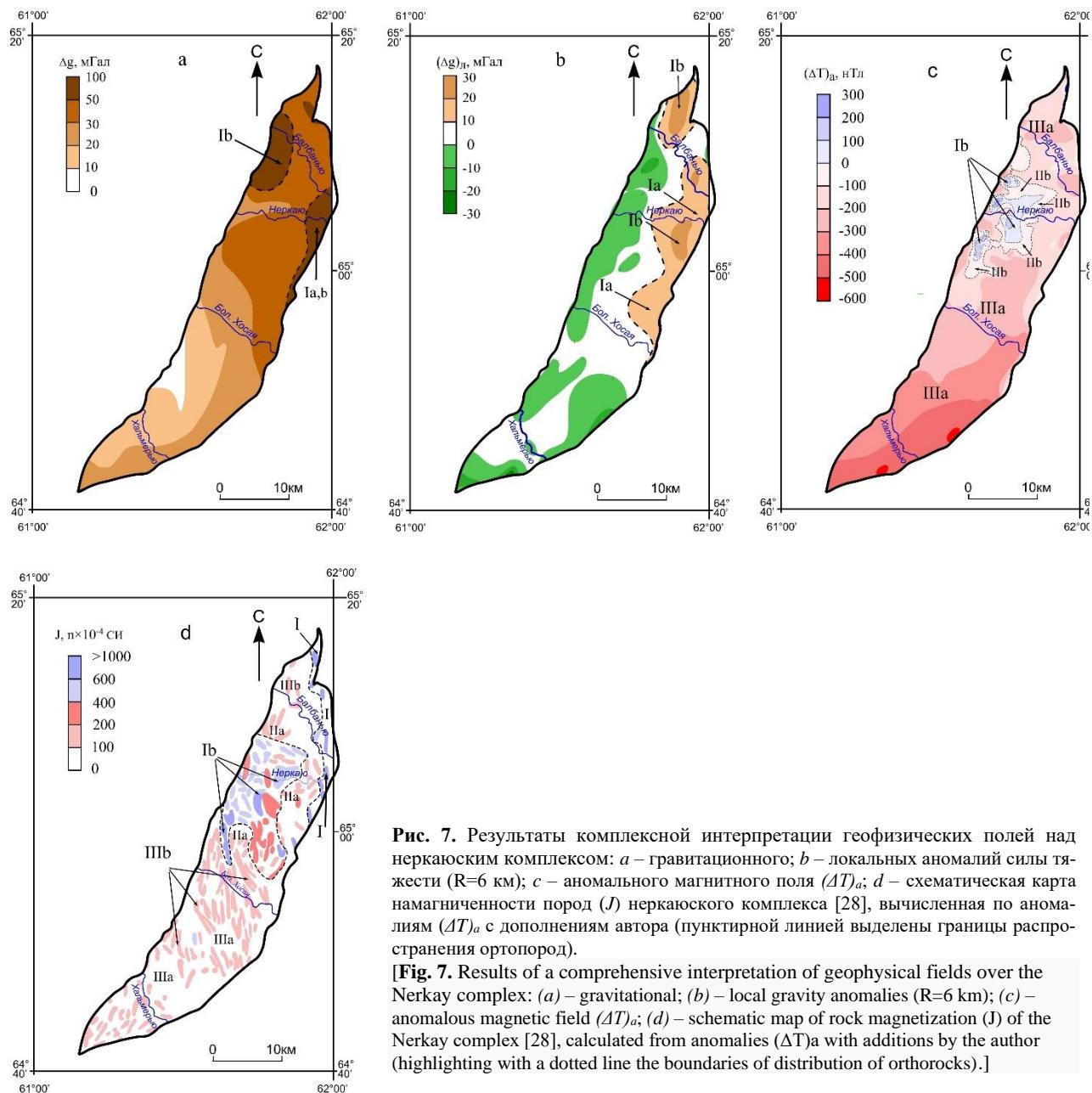


Рис. 7. Результаты комплексной интерпретации геофизических полей над неркауским комплексом: *a* – гравитационного; *b* – локальных аномалий силы тяжести ($R=6$ км); *c* – аномального магнитного поля (ΔT)_a; *d* – схематическая карта намагниченности пород (J) неркауского комплекса [28], вычисленная по аномалиям (ΔT)_a с дополнениями автора (пунктирной линией выделены границы распространения ортопород).

[Fig. 7. Results of a comprehensive interpretation of geophysical fields over the Nerkay complex: (a) – gravitational; (b) – local gravity anomalies ($R=6$ km); (c) – anomalous magnetic field (ΔT)_a; (d) – schematic map of rock magnetization (J) of the Nerkay complex [28], calculated from anomalies (ΔT)_a with additions by the author (highlighting with a dotted line the boundaries of distribution of orthorocks).]

Напротив, для юго-западной части неркауского комплекса характерны слабоинтенсивные геофизические поля (рис. 7б–с). Для нее типичен слабоградиентный характер локального гравитационного поля и магнитного, интенсивность которого меняется с востока на запад с минус 500 до 100 нТл (рис. 7б). Результаты качественной интерпретации геофизических данных указывают на то, что доминирующее распространение в этой части комплекса могут иметь слюдистые кристаллические сланцы осадочного происхождения (III, а) с характерными для них меньшими плотностями (около $2.70 \text{ г}/\text{см}^3$) и меньшими значениями магнитной восприимчивостью ($\chi_{yo} \leq 100 \times 10^{-8}$ ед. СИ). Также среди них могут встречаться их магнитные разности (III, б) и, возможно, плагиогнейсы. Качественная интерпретация геофизических полей и анализ взаимосвязей ано-

малий с породами комплекса указывает на неравномерность и локальный характер проявления метасоматических процессов, а именно диафтореза.

Заключение

На основе корреляционного анализа связей физических свойств с петрографическими, минералогическими и geoхимическими данными выделены шесть подгрупп пород с различными плотностными и магнитными свойствами. По петроплотностным параметрам выделены основные петрофизические группы, представленные метабазитами с $\rho \geq 3.00 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ и кристаллическими сланцами с $\rho < 3.00 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$. В свою очередь, сланцевые породы делятся на образованные: по осадочным породам (парапородам) с $\rho < 2.78 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ и основным магматическим образо-

ваниям (ортопородам) с $\rho \geq 2.78 \times 10^3$ кг/м³. Изучение петроплотностных характеристик метабазитов и сланцев показало, что, в основном, они зависят от плотности первичного субстрата (протолита), по которым породы образованы. В отличие от плотности, магнитные свойства пород имеют наложенный характер и зависят от количества и размерности зерен вторичного магнетита, развивающегося в процессе диафтореза. Локальный характер распределения магнетита в пара- и ортопородах позволил выделить среди них немагнитные (до 100×10^{-8} ед. СИ) и магнитные (свыше 100×10^{-8} ед. СИ) разности.

Результаты качественной интерпретации геофизических данных позволили разделить неркаюский комплекс на две области: северо-восточную и юго-западную. В северо-восточной части, наиболее подверженной постметаморфическим (вторичным) процессам, по контурам локальных гравитационных и магнитных аномалий картируются площади неизмененных или слабоизмененных метабазитов на востоке и ферромагнитных, диафторированных и метасоматически измененных амфиболитов на западе. В юго-западной части неркаюского комплекса, преимущественно пониженные значения гравитационного и магнитного полей наблюдаются над, получившими широкое развитие сланцами осадочного происхождения.

Автор благодарен кандидату геолого-минералогических наук Уляшевой Н. С. за ряд существенных разъяснений по петрографии и петрохимии и Кушмановой Е. В. за предоставленный геологический материал.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов К. С. Пучков В. Н., Пелевин И. А. Эклогиты и глаукофановые сланцы района реки Балбанью (Приполярный Урал) // Ежегодник-1980 Института геологии и геохимии. 1981. С. 72–74.
2. Казак А. П. Глаукофансланцевые формации Севера Урала // Петрология и минералогия метаморфических формаций Сибири. 1981. С. 143–150.
3. Пыстин А. М., Чернышев Ю. А., Царев Ю. М. О проявлении эклогитового метаморфизма на Приполярном Урале // Ежегодник-1979 Института геологии и геохимии. 1980. С. 79–81.
4. Пыстин А. М., Казак А. П., Чернышев Ю. А. Эклогиты неркаюского комплекса на Приполярном Урале // Записки ВМО. 1983. Вып. 3. Ч. 112. С. 346–353.
5. Пучков В. Н., Карстен Л. А., Иванов К. С. Состав и тектоническое положение эклогит-глаукофансланцевых комплексов Приполярного Урала // Доклады академии наук СССР. 1983. Т. 271. № 3. С. 676–680.
6. Пучков В. Н., Карстен Л. А., Шмелев В. Р. Важнейшие черты геологического строения восточного склона Приполярного Урала // Геология и палеонтология Урала. 1986. С. 75–88.
7. Вализер П. М., Ленных В. И. Амфиболы голубых сланцев Урала. М.: Наука, 1988. 203 с.
8. Пыстин А. М. Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. СПб: Наука, 1994. 208 с.
9. Ремизов Д. Н., Григорьев С. И., Григорьева Н. Г., Юдин В. В., Иванов В. Н., Феофилактов Ф.Н. Первичный состав и геодинамика неркаюского и лемвинского аллохтонов Приполярного Урала // Проблемы геологии и минералогии. 2006. С. 128–142.
10. Голубева И. И., Козлов В. В. Амфиболиты неркаюского комплекса // Петрология и минералогия севера Урала и Тимана. 2008. № 5(124). С. 63–76.
11. Gómez-Pugnaire M. T., Karsten L., Lopez Sánchez-Vizcaíno V. Phase relationships and P-T conditions eclogite-blueschists and their transformation to greenschist facies rocks in Nerkayu complex (Northern Urals) // Tectonophysics. 1997. Vol. 276. P. 195–216. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(97\)00055](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00055)
12. Пыстин А. М., Кушманова Е. В., Потапов И. Л., Панфилов А. В. Неркаюский метаморфический комплекс Приполярного Урала. // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 11. С. 22–27.
13. Кушманова Е. В. Кристаллические сланцы неркаюского комплекса: состав протолита и условия формирования // Структура, вещества, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: сб. тезисов конференции Сыктывкар: ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2019. С. 82–85.
14. Пономарева Т. А., Пыстин А. М., Кушманова Е. В. Глубинная характеристика неркаюского эклогит-сланцевого комплекса Приполярного Урала по гравиметрическим данным // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 11. С. 9–15.
15. Пономарева Т. А., Пыстин А. М. Структурные связи эклогитодержащих комплексов севера Урала с кристаллическим фундаментом Печорской плиты // Вестник Воронежского государственного университета Серия Геология. 2021. № 1. С. 65–74. <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3338>
16. Пономарева Т.А. Структурные особенности эклогитодержащих комплексов севера Урала по гравимагнитным данным // Вестник Пермского университета: Серия геологическая. 2020. №1(19). С. 25–37. <http://dx.doi.org/10.17072/psu.geol.19.1.25>.
17. Пономарева Т.А., Кушманова Е.В. Интерпретация петроплотностных и геофизических данных по северной части неркаюского комплекса (Приполярный Урал) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. Апатиты. 2022. № 19. С. 301–304. <https://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.055>
18. Пономарева Т.А., Кушманова Е.В. Метабазиты неркаюского комплекса Приполярного Урала: петрофизика, петрография и петрохимия // Вестник Воронежского государственного университета Серия Геология. 2022. № 4. С. 84–94. <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/4/83-93>
19. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Q-41. Воркута. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 541 с. <https://www.geokniga.org/maps/3353> (дата обращения: 25.01.2024).
20. Пономарева Т. А., Долгаль А. С. Пример комплексной обработки петрофизических данных по северной части неркаюского комплекса (Приполярный Урал) // Теория и практика разведочной и промышленной геофизики: сборник научных трудов ПГНИУ. Пермь. 2023. Вып. 6(11). С. 170–177.
21. Дементьев Л. Ф., Жданов М. А. Кирсанов А. Н. Применение математической статистики в нефте-газопромысловый геологии. М.: Недра, 1977. 255 с.
22. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизики. Под ред. Н. Б. Дортман. М.: Недра, 1984. 455 с.
23. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А.

- Петрофизика: Учеб. для вузов. М.: Недра, 1991. 368 с.
24. Практическая петрология: методические рекомендации по изучению магматических образований применительно к задачам госгеолкарт. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2017. 168 с.
25. Долгаль А. С. Комплексирование геофизических методов. Пермь, ПГНИУ. 2012. 167 с.
26. Пономарева Т.А., Кушманова Е.В. Интерпретация петроплотностных и геофизических данных по северной части неркаюского комплекса (Приполярный Урал) / Труды XIX Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. Апатиты. 2022. С. 301–304. <https://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.055>
27. Пономарева Т. А., Пыстин А. М. Петрофизическая характеристика пород полиметаморфических комплексов севера Урала // *Известия Кomi научного центра УрО РАН*. 2014. №2(18). С. 68–74.
28. Подбелов Б. Н., Подбелова Е. А., Козицкий Б. А. Объяснительная записка к карте аномального магнитного поля Тимано-Северо-Уральского региона. Л: Фонды ЗГТ, 1975.

UDC 550.83: 553.08: 550.42

ISSN 1609-0691

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/1/89–101>

Received: 23.12.2024

Accepted: 20.02.2025

Published online: 31.03.2025

Results of geological and geophysical studies of the Nerkayu complex in the Nether-Polar Urals

©2025 T. A. Ponomareva[✉]

**Institute of Geology, FRC Komi Scientific Center, UB of RAS
Pervomayskaya 54, 167982, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation**

Abstract

Introduction: among researchers, there are currently conflicting views on the origin of the Nerkay complex, the history of metamorphic and post-metamorphic transformations, their number, sequence, and time of manifestation. Given the inaccessibility and poor exposure of the Nerkayu complex, the combination of geophysical and petrophysical methods represents a valuable research tool for studying high-pressure metamorphic formations.

Methodology: rock density was determined by hydrostatic weighing using Mettler Toledo laboratory balances on whole rock samples. The magnetic susceptibility of rocks in powder form was measured using a KAPPABRIGE KLY-2 device with a measurement accuracy of 0.2–1%. Petrographic description of the rocks was carried out in polarized sections using a Polam-215 polarizing microscope. Ore minerals were studied using a Tescan VEGA3 LMH scanning electron microscope. The chemical composition of the rocks was obtained by the method of wet chemistry and the complex method of wet chemistry and X-ray fluorescence analysis. The interpretation of geophysical material consisted of a comprehensive interpretation of gravitational and magnetic fields, as well as transformants, using the comparison method, i.e. using a map overlay using the results of petrophysical grouping of rocks.

Results, discussion and conclusions: six subgroups of rocks with different densities and magnetic properties have been identified. The primary petrophysical groups, represented by metabasites and crystalline schists, were delineated based on density parameters, material composition, and textural and structural characteristics. The crystalline schists are further divided into two categories based on material composition and density. The first category, formed by sedimentary rocks (pararocks), and the second, formed by major igneous formations (orthorocks). Although the rocks are completely or partially recrystallized, studies of metabasites and schists have shown that their petrophysical properties are primarily determined by the density of the primary composition (protolith). Differences in the magnetic properties of metabasites have allowed the delineation of the area of distribution of metasomatic processes (diaphthoresis). The local nature of the distribution of magnetite in para- and orthorocks allowed to identify non-magnetic and magnetic varieties among them.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Tatyana A. Ponomareva, e-mail: taponomareva@inbox.ru

The results of qualitative interpretation of geophysical data made it possible to divide the Nerkayu complex into two areas: northeast and southwest. In the northeastern part, which is most susceptible to post-metamorphic processes, the areas of unchanged or slightly altered metabasites in the east and ferromagnetic, difluorinated and metasomatically altered amphibolites in the west are mapped along the contours of local gravity and magnetic anomalies. In the southwestern part of the Nerkayu Complex, predominantly reduced gravity and magnetic values are observed over widely developed schists of sedimentary origin. The presented example of geological and geophysical research on the Nerkayu complex will assist specialists engaged in the reconstruction of the primary composition and geodynamic position of metamorphic complexes in the northern Urals region in their understanding of the relationship between the physical properties of rocks and geophysical fields and the deep structure of the Nerkayu complex.

Keywords: petrophysical parameters, geophysical fields, the Nerkayu complex, metabasites, schists, minerals.

Funding: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Geology, FRC Komi Scientific Center, UB of RAS (registration number 1021062211107-6-1.5.6; FUUU-2022-0085).

For citation: Ponomareva T. A. Results of geological and geophysical studies of the Nerkayu complex in the Nether-Polar Urals // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2025, no. 1, pp. 89–101. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/1/89–101>

Conflict of interests: The author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Ivanov K. S. Puchkov V. N., Pelevin I. A. Jeklogity i glaukafanovye slancy rajona reki Balban'ju (Pripoljarnyj Ural) [Eclogites and glaucophane schists of the Balbanyu River area (Nether-Polar Urals)]. *Ezhegodnik-1980 – Yearbook-1980*, 1981, pp. 72–74 (In Russ.)
2. Kazak A. P. Glaukofanslancevye formacii Severa Urala [Glaucophan-schist formations in the North of the Urals]. *Petrologija i mineralogija metamorficheskikh formacij Sibiri – Petrology and mineralogy of metamorphic formations of Siberia*, 1981, pp. 143–150 (In Russ.)
3. Pystin A. M., Chernyshev Ju. A., Tarev Ju. M. O projavlenii jeklogiiovogo metamorfizma na Pripoljarnom Urale [On the manifestation of eclogite-facies metamorphism in the Polar Urals]. *Ezhegodnik-1979 – Yearbook-1979*, 1980, pp. 79–81 (In Russ.)
4. Pystin A. M., Kazak A. P., Chernyshev Yu. M. M., Kazak A. P. Jeklogity nerkajuskogo kompleksa na Pripoljarnom Urale [Eclogites of the Nerkayu complex in the Nether-Polar Urals]. *Zapiski VMO – WMO Notes*, 1983, vol. 112(3), pp. 346–353 (In Russ.)
5. Puchkov V. N., Karsten L. A., Ivanov K. S. Sostav i tectonicheskoe polozhenie jeklogit-glaukofanslancevyh kompleksov Pripoljarnogo Urala [Composition and tectonic position of eclogite-glaucophane complexes in the Nether-Polar Urals]. *Doklady Akademii nauk SSSR – Doklady Academy of Sciences of the USSR*, 1983, vol. 271, no. 3. pp. 676–680 (In Russ.)
6. Puchkov V. N., Karsten L. A., Shmelev V. R. Vazhnejshie cherty geologicheskogo stroenija vostochnogo sklona Pripoljarnogo Urala [The most important features of the geological structure of the eastern slope of the Nether-Polar Urals]. *Geologija i paleontologija Urala – Geology and Paleontology of the Urals*, 1986, pp. 75–88 (In Russ.)
7. Valizer P. M., Lennykh V. I. *Amfiboly golubyh slancev Urala* [Amphiboles of the blue schists of the Urals]. Moscow, Nauka publ., 1988, 203 p. (In Russ.)
8. Pystin A. M. *Polimetamorficheskie kompleksy zapadnogo sklona Urala* [Polymetamorphic complexes of the western slope of the Urals]. Saint Petersburg, Nauka publ., 1994, 208 p. (In Russ.)
9. Remizov D. N., Grigoryev S. I., Grigoryeva N. G., Yudin V. V., Ivanov V. N., Feofilaktov F. N. Pervichnyj sostav i geodinamika nerkajuskogo i lemvinskogo allohtonov Pripoljarnogo Urala [Primary composition and geodynamics of the Nerkayu and Lemva allochthons in the Nether-Polar Urals]. *Problemy geologii i mineralogii – Problems of Geology and Mineralogy*, 2006. pp. 128–142 (In Russ.)
10. Golubeva I. I., Kozlov V. V. Amfibolity nerkajuskogo kompleksa [Amphibolites of the Nerkayu complex]. *Petrologija i mineralogija severa Urala i Timana – Petrology and mineralogy in the North of the Urals and Timan*, 2008, vol. 5(124), pp. 63–76 (In Russ.)
11. Gómez-Pugnaire M. T., Karsten L., Lopez Sánchez-Vizcaíno V. Phase relationships and P-T conditions eclogite-blueschists and their transformation to greenschist facies rocks in Nerkayu complex (Northern Urals). *Tectonophysics*, 1997, vol. 276, pp. 195–216. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(97\)00055-3](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00055-3)
12. Pystin A. M., Kushmanova E. V., Potapov I. L., Panfilov A. V. Nerkajuskij metamorficheskij kompleks Pripoljarnogo Urala [The Nerkayu metamorphic complex in the Nether-Polar Urals]. *Vestnik Instituta geologii Komi NC UrO RAN – Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS*, 2014, no. 11, pp. 14–19 (In Russ.)
13. Kushmanova E. V. Kristallichеские slancy nerkajuskogo kompleksa: sostav protolita i uslovija formirovaniya [Crystalline schists of the Nerkayu complex: protolith composition and formation conditions]. *Struktura, veshhestvo, istorija litosfery Timano-Severouralskogo segmenta: sb. tezisov konferencii [Structure, substance, history of the lithosphere of the Timan-North Ural segment: collection of abstracts of the conference]*. Syktyvkar, FSC Komi SC Ural branch RAS publ., 2019, pp. 82–85 (In Russ.)
14. Ponomareva T. A., Pystin A. M., Kushmanova E. V. Glubinnaja harakteristika nerkajuskogo jeklogit-slancevogo kompleksa Pripoljarnogo Urala [Deep characteristics of the Nerkayu eclogite-schist complex in the Nether-Polar Urals]. *Vestnik Instituta geologii Komi NC UrO RAN – Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS*, 2017, no. 11, pp. 9–14 (In Russ.)
15. Ponomareva T. A., Pystin A. M. Strukturnye svjazi jeklogitsoderzhashhih kompleksov severa Urala s kristallicheskim fundamentom Pechorskoy plity [Structural relations between

- eclogite-bearing complexes in the north of the Urals with the crystalline basement of the Pechora plate]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2021. no. 1, pp. 65–74. <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3338> (In Russ.)
16. Ponomareva T. A. Strukturnye osobennosti jeklogitsoderzha-shhih kompleksov severa Urala po gravimagnitnym dannym [Structural features of eclogite-bearing complexes in the north of the Urals according to gravimagnetic data]. *Vestnik Permskogo universiteta, Seriya Geologija – Bulletin of Perm University. Geology*, 2020, vol. 1(19), pp. 25–37. DOI: 10.17072/psu.geol.19.1.25 (In Russ.)
17. Ponomareva T. A., Kushmanova E. V. Interpretacija petroplotnostnyh i geofizicheskikh dannyh po severnoj chasti nerkajuskogo kompleksa (Pripoljarnyj Ural) [Interpretation of petrodensity and geophysical data on the northern part of the Nerkayu complex (Nether-Polar Urals)]. *Trudy Fersmanovskoj nauchnoj sessii GI KNC RAN – Transactions of the Fersman Scientific Session of the GI KSC RAS*, Apatity, 2022, no. 19, pp. 301–304. <https://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.055> (In Russ.)
18. Ponomareva T. A., Kushmanova E. V. Metabazity nerkajuskogo kompleksa Pripoljarnogo Urala: petrofizika, petrografija i petrohimija [Metabasites of the Nerkayu complex of the Nether-Polar Urals: petrophysics, petrography and petrochemistry]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 4, pp. 84–94. <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/4/83-93> (In Russ.)
19. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossiijskoj Federacii. Masshtab 1: 1 000 000 (tret'e pokolenie). Serija Ural'skaya. List Q-41 – Vorkuta. Objasnitel'naja zapiska [State geologic map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000 (third generation). Ural Series. Sheet Q-41 – Vorkuta. Explanatory note]. Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2007, 541 p. (In Russ.) <https://www.geokniga.org/maps/3353>
20. Ponomareva T. A., Dolgal A. S. Primer kompleksnoj obrabotki petrofizicheskikh dannyh po severnoj chasti nerkajuskogo kompleksa (Pripoljarnyj Ural) [Example of complex processing of petrophysical data in the northern part of the Nerkayu complex (Nether-Polar Urals)]. *Teoriya i praktika razvedochnoj i promyslovoj geofiziki: sbornik nauchnyh trudov PGNIU – Theory and Practice of Exploration and Field Geophysics: Transactions of PGNIU*, 2023, vol. 6 (11), pp. 170–177 (In Russ.)
21. Dementiev L. F., Zhdanov M. A., Kirsanov A. N. *Primenenie matematicheskoy statistiki v nefte-gazopromyslovoj geologii* [Application of mathematical statistics in oil and gas field geology]. Moscow, Nedra publ., 1977, 255 p. (In Russ.)
22. *Fizicheskie svojstva gornyh porod i poleznyh iskopaemyh (petrofizika). Spravochnik geofiziki* [Physical properties of rocks and minerals (petrophysics). Reference book of geophysics. Ed. N. B. Dortman]. Moscow, Nedra publ., 1984, 455 p. (In Russ.)
23. Dobrynin V. M., Wendelstein B. Yu., Kozhevnikov D. A. *Petrofizika: Ucheb. dlja vuzov* [Petrophysics: Textbook for universities]. Moscow, Nedra publ., 1991, 368 p. (In Russ.)
24. *Prakticheskaja petrologija: metodicheskie rekomendacii po izucheniju magmaticheskikh obrazovanij primenitel'no k zadacham gosgeolkart* [Practical petrology: methodological recommendations for the study of magmatic formations in relation to the tasks of geological mapping]. Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2017, 168 p. (In Russ.)
25. Dolgal A. S. *Kompleksirovanie geofizicheskikh metodov* [Complementation of geophysical methods]. Perm, PGNIU publ., 2012, 167 p. (In Russ.)
26. Ponomareva T. A., Kushmanova E. V. Interpretaciya petroplotnostnyh i geofizicheskikh dannyh po severnoj chasti nerkayuskogo kompleksa (Pripolyarnyj Ural) [Interpretation of petrodensity and geophysical data for the northern part of the Nerkay complex (Subpolar Urals)]. *Trudy Fersmanovskoj nauchnoj sessii GI KNC RAN – Transactions of the Fersman Scientific Session of the GI KSC RAS*, Apatity, 2022, pp. 301–304. <https://doi.org/10.31241/FNS.2022.19.055> (In Russ.)
27. Ponomareva T. A., Pystin A. M. Petrofizicheskaja harakteristika porod polimetamorficheskikh kompleksov severa Urala [Petrophysical characteristics of rocks of polymetamorphic complexes in the north of the Urals]. *Izvestija Komi nauchnogo tsentra UrO RAN – Bulletin of the Komi Science Centre of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences*, 2014, no. 18, pp. 68–74 (In Russ.)
28. Podbelov B. N., Podbelova E. A., Kozitsky B. A. *Ob"yasnitel'naya zapiska k karte anomal'nogo magnitnogo polya Timano-Severo-Ural'skogo regiona* [Explanatory note to the map of the anomalous magnetic field of the Timan-North Ural region]. Saint Petersburg, Funds WGT publ., 1975. (In Russ.)

Пономарева Татьяна Анатольевна, к.г.-м.н., с.н.с., Институт геологии им. академика Н. П. Юшкина ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Российская Федерация;
e-mail: taponomareva@inbox.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6895-5450>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи

Tatyana A. Ponomareva, PhD in Geol.-Min., Senior researcher, Institute of Geology, FRC Komi Scientific Center, UB of RAS; Syktyvkar, Russian Federation,
e-mail: taponomareva@inbox.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6895-5450>

Author have read and approved the final manuscript.