

УДК 549.6:551.332.21(470.1/2)

## ЛИТОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОЛЯРНОЙ МОРЕНЫ СУБАРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНАТОВ И ЦИРКОНА

© 2025 г. Л. Н. Андреичева<sup>а, \*</sup>, Н. Н. Воробьёв<sup>а, \*\*</sup>

<sup>а</sup>Институт геологии им. акад. Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ Уро РАН,  
ул. Первомайская, 54, Сыктывкар, 167982 Россия

\*e-mail: andreicheva@geo.komisc.ru

\*\*e-mail: v.nikita91@mail.ru

Поступила в редакцию 03.05.2024 г.

После доработки 01.07.2024 г.

Принята к публикации 22.08.2024 г.

Рассмотрены результаты комплексного литологического изучения верхненеоплейстоценовой полярной (осташковской) морены: ее текстурно-структурные и минерально-петрографические особенности; химический состав и типоморфизм гранатов и циркона. Исследования проведены с целью выявления литостратиграфических критериев выделения морены и обоснованного расчленения и корреляции разрезов квартера. Эта морена распространена только на крайнем севере Печорской низменности, где формирует рельеф дневной поверхности. Она была изучена в нижнем течении Печоры и в береговых обнажениях рек Куи, Черной, Шапкиной. Морена характеризуется повышенным содержанием пелитовой фракции и имеет более тонкий гранулометрический состав, чем широко развитые здесь средне-неоплейстоценовые морены. Минералогические спектры тяжелой фракции морены на изученной территории однотипны и представлены эпидотом, гранатами, амфиболами, ильменитом, сидеритом и пиритом. Суммарное содержание пирита и сидерита составляет 20–35% при постоянном доминировании сидерита. Особенностью полярной морены является присутствие в ней единичных обломков криноидно-мшанковых известняков — руководящих пород Новоземельской области сноса, а также выдержанная ориентировка удлиненных обломков пород, указывающая на поступление обломочного материала с севера—северо-востока — из районов Пай-Хоя и Новой Земли. И только низовье р. Шапкиной перекрывалось ледниковым языком, протягивавшимся с северо-запада — из Фенноскандинавии и Северного Тимана.

Присутствие гранатов в морене связано с их поступлением из метаморфических и некоторых типов магматических пород. Преобладающая масса зерен циркона, в соответствии с величиной отношения  $ZrO_2/HfO_2$ , происходит из магматических пород основного и кислого составов. В подчиненном количестве содержится циркон метаморфических пород.

**Ключевые слова:** полярная морена, гранулометрический состав, минеральная ассоциация, питающая провинция, типоморфизм и химический состав гранатов и циркона, индикаторное отношение  $ZrO_2/HfO_2$

**DOI:** 10.31857/S0024497X25010054, **EDN:** CIMNVI

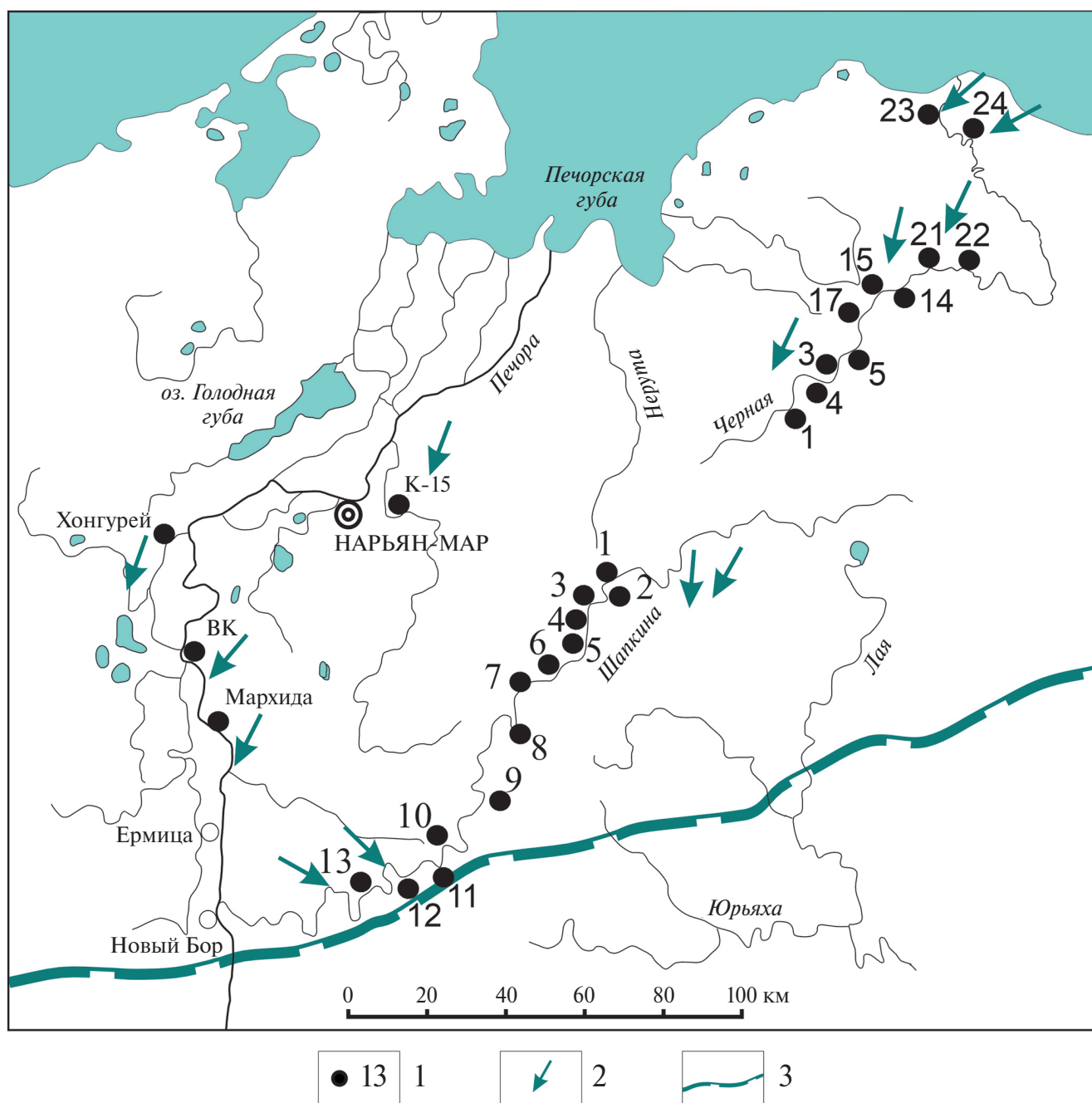
Наиболее дискуссионной проблемой валдая Европейской Субарктики России является определение местоположения центров оледенения, времени и границ распространения последнего покровного ледника. Результаты стратиграфического и палеогеографического изучения верхнего неоплейстоцена зачастую противоречивы, что привело к существованию в настоящее время трех палеогеографических моделей этого оледенения, подробно рассмотренных в работах [Андреичева, 2002; Андреичева и др., 2015].

Несмотря на продолжающиеся исследования и неослабевающий интерес к проблеме оледенения в позднем неоплейстоцене, ни одна из существующих моделей, по нашему мнению, не является бесспорной, и точка в решении этой проблемы пока не поставлена. Кроме того, представляется, что любые модели должны основываться на результатах изучения отложений комплексом методов, а не только на геохронометрических данных, хотя последние, несомненно, являются важной и неотъемлемой частью изучения квартера.

В соответствии с имеющимися у авторов данными многолетних комплексных исследований (литологическими, микробиологическим, палинологическим и геохронологическим методами с использованием результатов дешифрирования аэрофотоснимков и аэровизуальных наблюдений), в последний раз территория крайнего северо-запада Большеземельской тундры перекрывалась покровным ледником в позднем

валдае, и верхняя толща морены была отложена в полярное (осташковское, МИС-2) время 25–10 тыс. лет назад. Этот ледниковый покров продвигался предположительно до центральной части Большеземельской тундры, не доходя до широтного отрезка р. Печоры (рис. 1).

Детальное обоснование стратиграфического расчленения отложений и надежная корреляция



**Рис. 1.** Схема расположения изученных разрезов и ориентировка обломочного материала в верхневалдайской морене. 1 – номер обнажения; 2 – ориентировка обломков пород; 3 – граница оледенения.

необходимы для создания нового поколения четвертичных геологических карт на основе крупномасштабного геологического картирования. В этой связи требуется усовершенствование традиционных и использование новых методов и подходов в области четвертичной геологии. Впервые, с целью установления типов пород-источников сноса кластического материала, проведено изучение типоморфизма и химического состава гранатов и циркона из полярной морены.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полярная морена изучена в нижнем течении р. Печоры в обнажениях Хонгурей, Вастьянский Конь и Мархида, а также в ряде береговых обнажений в долинах рек Куи, Черной и Шапкиной. в нижнем течении Печоры и в долине р. Черной эта морена выходит на поверхность практически повсеместно и представлена темно-серым с бурым оттенком, иногда сизовато-серым неслоистым суглинком, ожелезненным по трещинам, с гравием, галькой, валунами, с обломками раковин моллюсков. Мощность полярной морены изменяется от 4 до 15 м, редко достигает 20 м. Максимальная мощность (20–22 м) наблюдается в отдельных береговых обнажениях по р. Шапкиной, где морена представлена основным и абляционным генетическими типами. Поздневалдайский покровный ледник заходил в долину р. Шапкиной двумя языками, перекрывая первым языком верхнее течение реки, а вторым — нижнее. В целом полярная морена развита ограниченно, вскрываясь лишь в этих частях долины [Андреичева, 2007].

По результатам гранулометрического анализа, детального изучения минерального состава тяжелой фракции, исследования ориентировки удлиненных осей обломков пород и их петрографического состава, проведена корреляция изученных разрезов с выходами полярного ледникового горизонта ( $Q_{III}^{4p}$ ).

Гранулометрический анализ выполнялся по методике Н.А. Качинского [1958] с применением ситового метода и метода лазерной дифракции. Ситовым методом определяли фракционный состав материала гравийно-песчаной размерности. Глинисто-алевритовая фракция размером  $<0.1$  мм исследовалась на лазерном анализаторе частиц “Микросайзер 201С” (ЦКП “Геонаука” ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар). При обработке полученных результатов были рассчитаны средние диаметры зерен ( $d_{cp}$ ) и коэффициенты сортировки материала ( $S_c$ ). Данный

коэффициент изменяется от нуля до единицы и растет в направлении увеличения сортировки отложений:  $S_c = 0$  — наихудшая сортировка отложений, тогда как  $S_c = 1$  соответствует однофракционным осадкам [Белкин, Рязанов, 1972]. В соответствии с классификацией глинисто-алеврито-песчаных отложений Л.Б. Рухина [Рухин, 1969] проведено определение пород.

Минералогический анализ проводился с целью выяснения местоположения питающих ледниковых провинций. Подготовка проб для минералогического анализа выполнялась по методике М.Ф. Викуловой [Викулова, 1957]. Из двухсотграммовой навески отмывалась фракция  $<0.1$  мм. Оставшаяся часть пробы с размером зерен  $>0.1$  мм была подразделена на гранулометрические фракции методом ситования. Далее мелкопесчаная фракция (0.25–0.1 мм), как наиболее представительная, доступная для изучения и отражающая состав питающих провинций, как местных и транзитных, так и удаленных [Андреичева, 1992, 2002], подвергалась разделению в бромформе (плотность  $2.9 \text{ г/см}^3$ ), магнитной сепарации, выделенные фракции взвешивались, а затем изучались под бинокляром и в иммерсионных препаратах. При необходимости уточнения диагностики, зерна минералов исследовались фотометодом [Руководство..., 1975] и на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) фирмы JEOL (модель JSM-6400) в ЦКП “Наука” Института геологии Коми НЦ УрО РАН.

Петрографический анализ валунно-галечного материала морены и замеры ориентировки осей удлиненных обломков пород выполнялись в полевых условиях. В случае затруднений при определении состава пород, обломки отбирали и изучали в петрографических шлифах. Для получения достоверных данных и корректной последующей статистической обработки изучался петрографический состав валунно-галечного материала размерностью  $>3$  см из объема породы  $0.25 \text{ м}^3$  (более 100 образцов) и проводились замеры ориентировки удлиненных обломков пород (не менее 50 образцов) в каждой точке наблюдения.

Для сопоставления моренных горизонтов по петрографическому составу все обломки пород, в соответствии с методикой А.И. Гайгаласа (1979), были подразделены на пять крупных петрогенетических групп.

I — палеозойские темно-серые и черные известняки и доломиты, типичные для Новой Земли, Пай-Хоя и Полярного Урала;

II — палеозойские светло-серые и белые известняки, слагающие гряды Чернышева;

III — юрские и нижнемеловые песчано-глинистые породы, подстилающие отложения квартера в северной части Печорской низменности;

IV — терригенные породы перми и триаса, залегающие под четвертичными осадками в бассейне средней Печоры (южнее г. Печоры), а также развитые в предгорьях западного Урала;

V — магматические и метаморфические породы Фенноскандинавии, Тиманского кряжа и Урала.

Породы, объединенные в III и IV группы, являются либо местными, либо транзитными, а породы, слагающие группы I II и V, поступали в район исследования из удаленных источников сноса обломочного материала.

Типоморфные особенности и химический состав гранатов и циркона изучались в мелкопесчаной фракции (0.25–0.1 мм) в ЦКП “Наука” Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Минералы исследовались микрозондовым рентгено-спектральным методом на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMN с энергодисперсионной приставкой X-MAX 50 mm<sup>2</sup> (EDS) Oxford instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, размер пучка 180 нм, область возбуждения до 5 мкм, время накопления ~600000 импульсов, вакуум 0.02 Па. Калибровка производилась по кобальтовому стандарту (оператор Е.М. Тропников).

Для получения катодолюминесцентного изображения кристаллов циркона был использован СЭМ Thermo Fischer Scientific Axia ChemiSEM с выдвижным детектором катодолюминесценции RGB, с диапазоном обнаружения длин волн — 350–850 нм.

При отборе под биноклем гранаты сначала подразделялись на цветовые группы, а затем было дано описание их морфологических признаков. Далее, для определения химического состава и его пересчета на минеральный состав, каждое минеральное зерно анализировалось микрозондовым методом в СЭМ.

Индикаторное соотношение  $ZrO_2/HfO_2$  в цирконе использовалось для диагностики пород, за счет которых формировались морены, и для определения местоположения питающих ледниковых провинций, поскольку содержание гафния в минерале некоторые исследователи [Ляхович и др., 1992а; Осовецкий, 2001] связывают с материнскими породами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### *Гранулометрический состав*

В береговых обнажениях нижней Печоры (Хонгурей, Вастьянский Конь, Мархида) и в долине р. Куи полярная морена представлена валунными суглинками, супесями и глинами. Гранулометрический состав морены изменчив как на площади, так и в разрезе (рис. 2), что обусловлено неоднородным составом подстилающих отложений, за счет которых она формировалась.

В обнажении Хонгурей на гравийно-песчаную фракцию приходится 24%, алевритовую — 40%, глинистую — 36%. в обнажениях Вастьянский Конь и Мархида содержания гравийно-песчаного, алевритового и глинистого материала близки и соответственно составляют в среднем 29, 32 и 39%. Степень сортированности морены низкая ( $S_c = 0.19–0.24$ ), средний диаметр ( $d_{cp}$ ) колеблется в пределах 0.004–0.037 мм. В бассейне р. Куи полярная морена, залегающая на морских сулинских песках, имеет более грубый гранулометрический состав и сложена слабосортированной супесью ( $S_c = 0.19$ ,  $d_{cp} = 0.036$  мм) с суммарной карбонатностью 5.3%. Соотношение гравийно-песчаной, алевритовой и глинистой фракций соответственно составляет 37, 37 и 26%, с невысоким содержанием (до 2%) крупнообломочного материала.

В долине р. Черной эта морена развита практически повсеместно. Являясь рельефообразующей, она слагает водораздельную поверхность, верхнюю часть береговых обнажений, а иногда весь береговой обрыв. Представлена преимущественно темно- и сизовато-серыми неслоистыми глинами с небольшим количеством крупнообломочного материала (до 4–5% от объема породы) и с обломками раковин моллюсков. Количество гравийно-песчаной фракции в среднем невелико (19%), но наблюдается увеличение содержания этой фракции в морене вниз по течению реки. Так, в береговых обнажениях Ч-1–Ч-17 (табл. 1) оно составляет 10–15%, тогда как ниже устья р. Сыхыдьяр-яха (N 68°02'55.5", E 56°05'51.4) увеличивается до 22–31% за счет сокращения (почти на 15%) алевритовой составляющей. Содержание алевритовой и глинистой фракций соответственно 40 и 41%, при низкой степени сортировки ( $S_c = 0.19$ ) и среднем диаметре зерен ( $d_{cp}$ ) 0.017 мм. Содержание материала, растворимого в 10%-ной HCl, составляет 6.2%. Однако в отдельных образцах полярной морены приустьевого

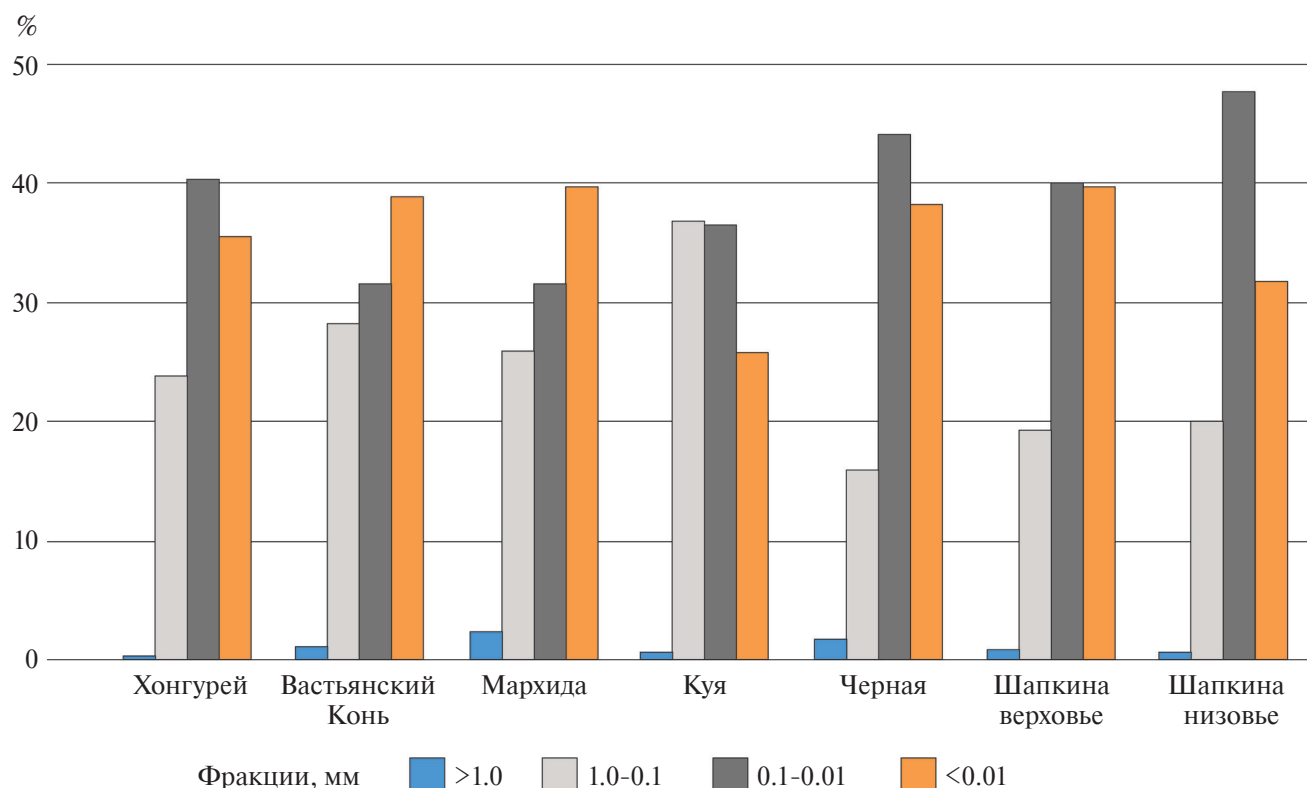


Рис. 2. Гранулометрический состав полярной морены в исследованных разрезах на северо-западе Печорской низменности.

Таблица 1. Гранулометрический состав полярной морены в долине р. Черной

| № обн. | Карбонатность, % | Содержание фракций, %, размер, мм |         |          |       | Средний диаметр, $d_{cp}$ , мм | Коэффициент сортировки, $S_c$ |
|--------|------------------|-----------------------------------|---------|----------|-------|--------------------------------|-------------------------------|
|        |                  | >1.0                              | 1.0–0.1 | 0.1–0.01 | <0.01 |                                |                               |
| Ч-1/2  | 5.8              | 1.1                               | 12.7    | 45.7     | 40.6  | 0.014                          | 0.15                          |
| Ч-7    | 6.7              | 0.9                               | 11      | 44.4     | 43.7  | 0.014                          | 0.17                          |
| Ч-3    | 5.6              | 1.8                               | 13.5    | 47.9     | 36.8  | 0.018                          | 0.15                          |
| Ч-5/2  | 6.3              | 1                                 | 11.2    | 48       | 39.8  | 0.016                          | 0.26                          |
| Ч-17   | 6.1              | 1.2                               | 9.1     | 47       | 42.7  | 0.014                          | 0.19                          |
| Ч-21   | 5                | 2.7                               | 26.3    | 37.6     | 33.4  | 0.023                          | 0.12                          |
| Ч-22   | 5.9              | 2.9                               | 28      | 38.7     | 30.5  | 0.026                          | 0.23                          |
| Ч-23   | 8.8              | 3.1                               | 21.9    | 34.8     | 40.2  | 0.021                          | 0.19                          |
| Ч-24   | 5.9              | 1.5                               | 20.4    | 16.3     | 61.8  | 0.011                          | 0.26                          |

участка реки (обн. Ч-23) отмечается высокая суммарная карбонатность (до 10–15%).

На р. Шапкиной полярная морена развита не повсеместно, а лишь на участках в верхнем и нижнем течении реки, где вскрывается в обнажениях 1–4 и 12–13 (см. рис. 1). Представлена суглинками, гранулометрический состав которых несколько различается соотношением пелитовой и алевритовой фракций (табл. 2). Количество

гравийно-песчаной фракции невелико и составляет в среднем 20%. Суммарная карбонатность морены несколько повышена – 6.9–8.4%, средний диаметр зерен ( $d_{cp}$ ) – 0.017–0.019 мм, коэффициент сортированности  $S_c$  имеет низкие значения – 0.18–0.19.

Наиболее тонкий гранулометрический состав полярная морена имеет на побережье Баренцева моря, что следует связывать с ее формированием

**Таблица 2.** Гранулометрический состав полярной морены на северо-западе Печорской низменности

| Местоположение<br>разрезов | Карбонат-<br>ность, % | Содержание фракций, %, размер, мм |         |          |       | Средний<br>диаметр,<br>d <sub>ср</sub> , мм | Коэффициент<br>сортировки,<br>S <sub>c</sub> |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------|----------|-------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                            |                       | >1.0                              | 1.0–0.1 | 0.1–0.01 | <0.01 |                                             |                                              |
| Хонгурей                   | 6.6                   | 0.2                               | 23.7    | 40.5     | 35.7  | 0.019                                       | 0.19                                         |
| Вастьянский Конь           | 6                     | 1                                 | 28.2    | 31.8     | 39    | 0.016                                       | 0.22                                         |
| Мархида                    | 4.9                   | 2.4                               | 26      | 31.7     | 39.9  | 0.019                                       | 0.24                                         |
| Куя                        | 5.3                   | 0.7                               | 36.9    | 36.7     | 25.7  | 0.036                                       | 0.19                                         |
| Черная                     | 6.9                   | 1.7                               | 16      | 44.2     | 38.2  | 0.018                                       | 0.19                                         |
| Шапкина верховье           | 8.4                   | 0.8                               | 19.4    | 40       | 39.9  | 0.017                                       | 0.18                                         |
| Шапкина низовье            | 6.9                   | 0.7                               | 19.9    | 47.7     | 31.7  | 0.019                                       | 0.19                                         |

за счет глинистых алевритов с ленточной слоистостью, которые морена обычно перекрывает.

#### *Минеральный состав мелкопесчаной фракции*

Для выявления особенностей минерального состава, характерных для полярной морены и являющихся диагностическими при установлении ее возрастной принадлежности, основное внимание было уделено доминирующим в тяжелой фракции минералам: ильмениту, эпидоту,

амфиболам, гранатам, пириту и сидериту, в отдельных случаях были отмечены также повышенные концентрации титановых (рутил, титанит, лейкоксен) и метаморфических минералов (ставролит, силлиманит, кианит).

На нижней Печоре, в обнажениях Хонгурей, Вастьянский Конь, Мархида и в долине р. Куи, выход тяжелой фракции (ВТФ) полярной морены довольно значителен и составляет от 0.68 до 1.08% (табл. 3).

**Таблица 3.** Минеральный состав тяжелой фракции полярной морены на северо-западе Печорской низменности

| Местоположение<br>разрезов            | Хонгурей | Вастьянский<br>Конь | Мархида | Куя  | Черная | Шапкина  |         |
|---------------------------------------|----------|---------------------|---------|------|--------|----------|---------|
|                                       |          |                     |         |      |        | верховье | низовье |
| ВТФ, %                                | 0.71     | 0.68                | 1.08    | 0.70 | 0.64   | 0.64     | 0.60    |
| Ильменит                              | 5.8      | 6                   | 9.1     | 6.3  | 3.7    | 4.4      | 6.7     |
| Эпидот                                | 21.7     | 26.9                | 27.1    | 20.8 | 18.9   | 23.3     | 22.2    |
| Амфибол                               | 15.6     | 12.1                | 7.4     | 13.6 | 11.1   | 10.7     | 12.7    |
| Гранаты                               | 17.7     | 20.4                | 16.8    | 18   | 13.8   | 17.3     | 14.8    |
| Пирит                                 | 6.3      | 5.1                 | 6       | 7.7  | 10.1   | 5.9      | 10.2    |
| Сидерит                               | 6.5      | 9.6                 | 14.4    | 13.1 | 23.8   | 16.7     | 13.3    |
| Циркон                                | 1.2      | 1.5                 | 1.5     | 0.8  | 0.8    | 5.7      | 3.8     |
| Рутил                                 | 0.6      | 0.5                 | 0.7     | 1    | 0.3    | 0.5      | 0.4     |
| Титанит                               | 2.7      | 2                   | 1.8     | 3.2  | 1.7    | 1.6      | 3.3     |
| Лейкоксен                             | 2.3      | 3                   | 2.4     | 2.3  | 2      | 2.7      | 3.5     |
| Группа титановых<br>минералов         | 5.6      | 5.5                 | 4.9     | 6.5  | 3.9    | 4.3      | 7.2     |
| Кианит                                | 3.0      | 4.3                 | 6.4     | 1.9  | 2.2    | 2.3      | 1.8     |
| Ставролит                             | 0.4      | 0.7                 | 0.6     | 0.6  | 0.9    | 0.2      | 0.5     |
| Силлиманит                            | 0.0      | 0.1                 | 0       | 0.0  | 0.1    |          |         |
| Группа метаморфиче-<br>ских минералов | 3.4      | 5.1                 | 7       | 2.5  | 3.2    | 2.5      | 2.3     |
| Турмалин                              | 0.9      | 1.2                 | 1.8     | 0.8  | 1.2    | 0.7      | 1.3     |
| Апатит                                | 4.3      | 2.4                 | 0.4     | 3.9  | 1      | 1.1      | 1.9     |
| Пироксен                              | 5.9      | 1.2                 | 1.8     | 2.3  | 1.3    | 1.8      | 2.4     |
| Лимонит                               | 2.7      | 1.1                 | 0.6     | 0.2  | 4.1    | 1.8      | 0.5     |

Самое высокое содержание тяжелых минералов (1.08%) установлено в морене обн. Мархида. В морене обн. Хонгурей они образуют амфибол (15.6%)—гранат (17.7%)—эпидотовую (21.7%) минеральную ассоциацию. Практически в равных долях в тяжелой фракции содержатся пирит и сидерит, суммарное их количество не превышает 13%. Подобная ассоциация характерна и для полярной морены в обн. Вастьянский Конь. Здесь доминируют эпидот (26.9%), гранаты (20.4%) и амфиболы (12.1%), содержание сидерита составляет 9.6%. В обн. Мархида тяжелые минералы морены составляют сидерит (14.4%)—гранат (16.8%)—эпидотовую (27.1%) ассоциацию — такую же, как и в полярной морене других районов крайнего севера региона. Основное различие связано с заметно повышенным содержанием ильменита (до 9.1%) и метаморфических минералов (до 7%), тогда как концентрация амфиболов, напротив, понижена до 7.4%. В разрезах р. Куи тяжелые минералы представлены эпидотом (20.8%), гранатами (18%), амфиболами (13.6%) и сидеритом (13.1%), количество пирита составляет 7.7%, ильменита — 6.3%, содержание апатита повышено до 3.9%.

В долине р. Черной средний выход тяжелых минералов в морене составляет 0.67%, они состоят из амфиболов (11.3%)—пирита (10.4%)—граната

(15.4%)—эпидота (16.9%)—сидеритовую (20.2%), минеральную ассоциацию с повышенной концентрацией ильменита (8–12%) в ряде разрезов ниже устья р. Сыхыдыръяха (обн. 21–24). Для морены всей долины р. Черной характерно самое высокое на северо-западе Печорской низменности суммарное содержание пирита и сидерита (22–46.2%), в среднем составляющее 31%, при доминирующей роли сидерита.

В бассейне р. Шапкиной выход тяжелых минералов в морене изменяется от 0.50 до 0.81%, и в самом верхнем течении реки уменьшается до 0.21%. Минеральный состав тяжелой фракции полярной морены в верховье р. Шапкиной и в нижнем ее течении характеризуется сходством (рис. 3). Связано это, скорее всего, со стабильным минеральным составом подстилающей вычегодской морены, оказывающим существенное влияние на образование полярной морены. Тяжелые минералы, так же как в морене из обнажений по р. Черной, образуют амфибол (11.5%)—сидерит (14.8%)—гранат (16.1%)—эпидотовую (23.2%) минеральную ассоциацию. Суммарное количество пирита и сидерита в тяжелой фракции здесь ниже (22.4%), чем в полярной морене долины р. Черной, но преобладающая роль сидерита над пиритом сохраняется.

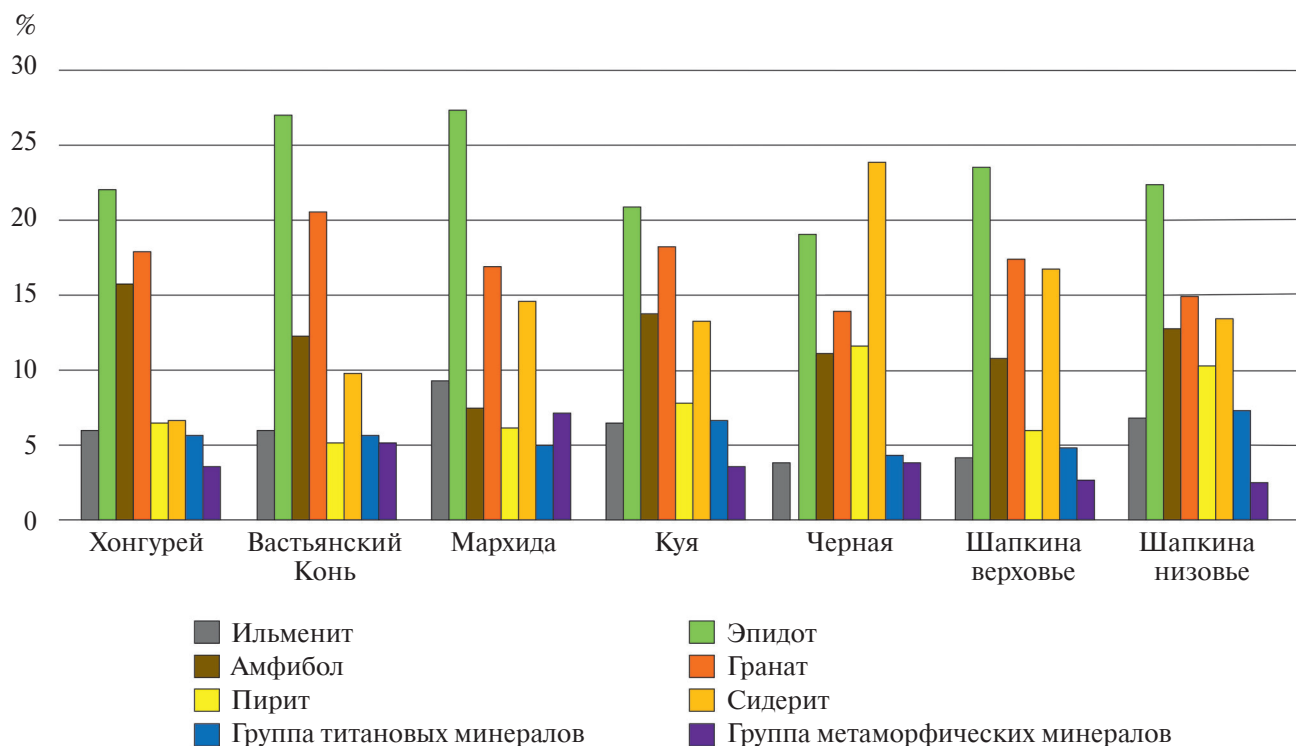


Рис. 3. Минеральный состав тяжелой фракции полярной морены на северо-западе Печорской низменности.

По минеральному составу тяжелой фракции полярной морены на территории исследований можно предположить, что он формировался за счет поступления терригенного материала из районов Пай-Хоя—Новой Земли, а в нижнем течении р. Шапкиной — из Фенноскандинавской питающей провинции.

#### *Петрографический состав*

Отложения поздневалдайского оледенения, в систему которого входили два крупных ледниковых покрова: Фенноскандинавский и Новоземельский, формировались за счет материала двух терригенно-минералогических провинций [Структура..., 1977]. На большей части территории исследований удлиненные обломки пород в морене ориентированы с севера-северо-востока ( $350^\circ$ – $60^\circ$ ), а особенности ее вещественного состава свидетельствуют о поступлении материала со стороны Пай-Хоя—Новой Земли и, вероятно, шельфов Баренцева и Карского морей. В отдельных разрезах, в частности, в низовье р. Шапкиной, формирование этой морены связано с Фенноскандинавией, что подтверждается ориентировкой обломков пород с запада—северо-запада в секторе  $270^\circ$ – $320^\circ$  и довольно четко отражается и в петрографическом составе валунно-галечного материала.

В составе крупнообломочного материала полярной морены содержатся обломки пород Пай-Хой—Новоземельской питающей провинции: палеозойские темно-серые и черные известняки

и доломиты, а также эпизодически отмечаемые валуны руководящих пород этой провинции — мраморовидных розовых криноидно-мшанковых известняков ордовик-раннесилурийского возраста, коренные выходы которых известны на Северном острове архипелага Новая Земля (рис. 4).

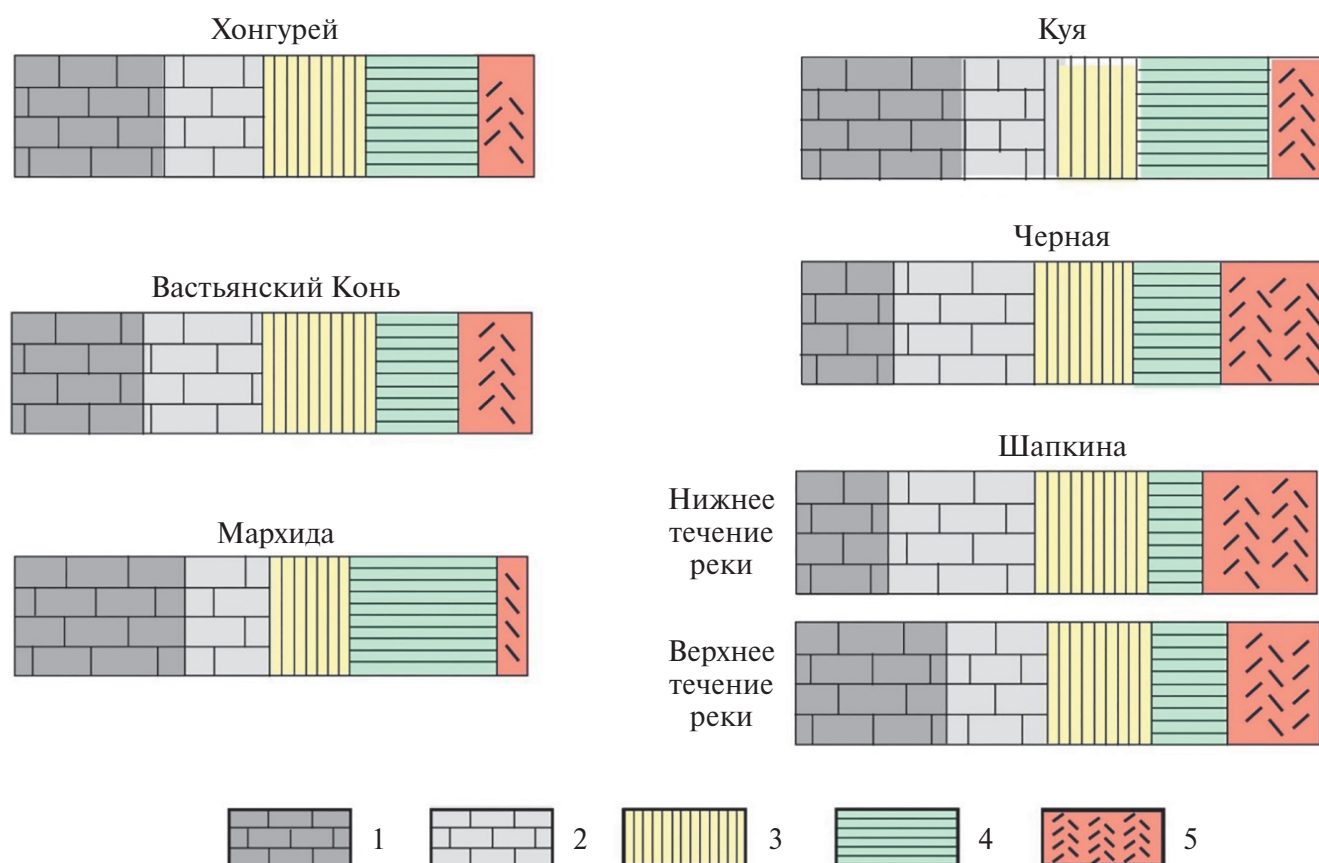
В составе морены из обнажений нижней Печоры около половины всех обломков (48–49%) представлены известняками и доломитами, различия касаются только соотношения темно- и светлоокрашенных разностей карбонатных пород (рис. 5).

Обломки пород в морене ориентированы с северо-востока на юго-запад по азимуту  $25^\circ$ – $50^\circ$  (см. рис. 1), что с учетом присутствия в петрографическом составе криноидно-мшанковых известняков, свидетельствует о связи полярной морены с Пай-Хой—Новоземельским центром оледенения.

В долине р. Куи среди крупных обломков пород, содержащихся в полярной морене, также преобладают карбонатные породы, составляя 46.3%, при этом почти две трети — 30.8%, приходится на долю палеозойских темно-серых и черных известняков и доломитов. Морена характеризуется здесь довольно хорошо выраженной однонаправленной ориентировкой удлиненных обломков, что наблюдается уже при полевых наблюдениях в разрезах. Ориентировка обломочного материала в морене с севера—северо-востока на юг—юго-запад в секторе  $10^\circ$ – $30^\circ$  указывает



Рис. 4. Валун мраморовидных криноидно-мшанковых известняков — руководящих пород территории архипелага Новая Земля.



**Рис. 5.** Петрографический состав крупнообломочного материала в полярной морене исследованных разрезов на северо-западе Печорской низменности.

1 — темно-серые и черные известняки и доломиты; 2 — светло-серые и белые известняки; 3 — юрские и нижнемеловые терригенные породы; 4 — терригенные породы перми и триаса; 5 — магматические и метаморфические породы.

на поступление его со стороны Пай-Хоя—Новой Земли.

В береговых обнажениях верхнего и среднего течения р. Черной петрографический состав валунно-галечного материала полярной морены характеризуется высоким (до 50%) содержанием карбонатных пород, а в этой группе — значительной долей (31–34%) светлоокрашенных известняков, особенно в нижней части субширотного отрезка реки в обнажениях 21 и 22 (см. рис. 1). Светлоокрашенные карбонатные породы составляют 27–34% от количества всех обломков, содержащихся в морене, в юго-западном направлении (вверх по течению реки) доля их уменьшается до 15–20%. Здесь так же, как и в низовье Печоры, в составе крупнообломочного материала морены присутствуют руководящие валуны с Новой Земли. Основное направление ориентировки удлиненных обломков пород в полярной морене с севера (350°–20°) подтверждает ее связь с Пай-Хой—Новоземельским центром оледенения.

Полярная морена в долине р. Шапкиной распространена ограниченно. Покровный ледник перекрывал долину двумя языками: первый — область верхнего течения реки до устья р. Вэснию (N 67°30'52.8", E 54°43'50.3"), второй — ее низовье. В морене верхнего течения р. Шапкиной ориентировка удлиненных обломков с севера—северо-востока по азимуту 350°–40° показывает, что образующий ее материал поставлялся со стороны Пай-Хоя—Новой Земли и, возможно, шельфов Баренцева и Карского морей. Нижнее течение реки в полярное время перекрывалось Фенноскандинавским ледником, о чем свидетельствует ориентировка обломков пород на восток—юго-восток по азимуту 90°–140°. Это подтверждается и петрографическим составом крупнообломочного материала: в верхнем течении реки в морене постоянно отмечаются валуны новоземельских криноидно-мшанковых известняков, тогда как в морене на участке нижнего ее течения встречаются обломки северотиманских

базальтов с агатами. И в верховье р. Шапкиной, и в ее низовье в морене отмечается повышенное (47%) содержание обломков карбонатных пород. Но в верхнем течении реки преобладают темно-серые и черные известняки и доломиты, на которые приходится 28% обломков, тогда как в нижнем — столько же (28%) составляют обломки светлоокрашенных карбонатных пород.

#### *Типоморфные особенности гранатов и циркона*

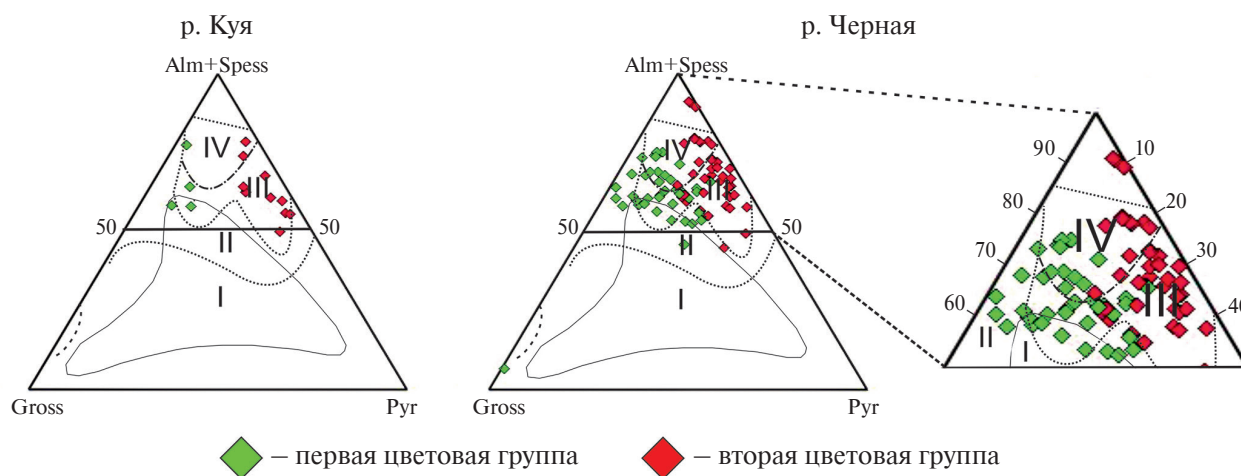
Типоморфные особенности гранатов и циркона из полярной морены долин рек Куи и Черной и химический состав этих минералов были детально изучены для подтверждения местоположения центров оледенения в позднем валдае, установленных на основе литостратиграфических данных, а также для возможности расчленения и корреляции верхнеплейстоценовых разрезов. Предполагалось, что типоморфные характеристики и химический состав этих минералов в Фенноскандинавской и Пай-Хой–Новоземельской питающих ледниковых провинциях различны, что поможет связать формирование полярной морены с определенными центрами оледенения.

В тяжелой фракции морены содержание гранатов 20–25%. Присутствие зерен гранатов связано с их поступлением из метаморфических и некоторых типов магматических пород. В породах, предполагаемых в качестве источников обломочного материала, содержатся гранаты различного химического состава. Например, для метаосадочных пород, таких как гранат-слюдяные кристаллические сланцы, характерны богатые

железом гранаты, а для амфиболитов и голубых сланцев, ассоциирующих с эклогитами, — гранаты с высоким содержанием Mg и Ca [Бадида и др., 2020a].

Минеральный состав исследованных зерен гранатов из полярной морены долин рек Куи и Черной, показан на рис. 6. Гранаты относятся к двум цветовым группам: первой — оранжевые зерна и второй — розовые зерна. Для каждой группы характерны вариации содержаний MgO, FeO, MnO и CaO.

В морене долины р. Куи гранаты первой цветовой группы представлены среднеокатанными зернами. Для гранатов второй цветовой группы характерны остроугольные и плохо окатанные обломки. Зерна оранжевых гранатов имеют следующие составы: гроссуляр-альмандин, спессартин-гроссуляр-альмандин, гроссуляр-спессартин-альмандин. В них довольно высоки содержания спессартинового (до 33%) и гроссулярового (до 32%) минералов. Во второй группе преобладает гранат состава пироп-альмандин, причем содержание пиропового минерала достигает 41.5%. На треугольной диаграмме Н.В. Соболева [1964] фигуративные точки гранатов первой цветовой группы с повышенным содержанием гроссулярового компонента сконцентрированы преимущественно в полях гранатов из метаморфических пород эклогитовой и гранулитовой фаций, а второй цветовой группы — тяготеют к полям гранатов из пород амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций (см. рис. 6).



**Рис. 6.** Диаграмма фациальной принадлежности гранатов из полярной морены долин рек Куи и Черной. Фации метаморфизма: I — эклогитовая, II — гранулитовая (вместе с фациями кианитовых гнейсов и сланцев), III — амфиболитовая, IV — эпидот-амфиболитовая (по [Соболев, 1964]). Первая группа — гранаты оранжевые, вторая группа — гранаты розовые.

Преобладающая часть гранатов в тяжелой фракции полярной морены долины р. Черной представлена угловатыми и плохо окатанными зернами разного состава. Для первой группы гранатов с оранжевым оттенком характерны спессартин-гроссуляр-альмандиновый, пироп-гроссуляр-альмандиновый, гроссуляр-спессартин-альмандиновый составы. По данным работы [Породообразующие..., 1965], спессартин встречается реже, чем другие гранаты, хотя в альмандинах гранитов и риолитов часто отмечается более высокая спессартиновая составляющая. По этой причине зерна с повышенным содержанием спессартинового компонента, вероятно, можно отнести к этим магматическим породам. В группе розовых зерен граната, судя по результатам расчета минерального состава, преобладает альмандин: альмандиновый компонент в них составляет 34–89%, пироповый – 2–30%, гроссуляровый – 1–19%, спессартиновый – 1–8%. В некоторых зернах содержание пироба достигает 38–44%.

Исследования микрозондовым рентгеноспектральным методом показали, что в целом кристаллы граната гомогенные, и зональности в них не наблюдается. На диаграмме вероятной принадлежности гранатов из полярной морены долины р. Черной метаморфическим фациям (см. рис. 6) видно, что основная масса фигуративных точек локализована в областях гранатов метаморфических пород амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций (поля III и IV). На это указывает и высокое содержание Fe, что соответствует гранатам метасадочных образований, а также магматических пород среднего и кислого составов [Бадида и др., 2020а]. Небольшое количество фигуративных точек располагается в областях, характерных для гранатов метаморфических пород гранулитовой и эклогитовой фаций (поля I и II).

Следует отметить, что полярная морена в долине р. Куи содержит крайне мало зерен циркона (<1% от общего количества минералов тяжелой фракции), что явно недостаточно для их выделения и исследования.

Циркон был изучен в тяжелой фракции полярной морены из обнажений в долине р. Черной, где его содержание 1–5.5%. Морфологические типы кристаллов циркона и внутренняя структура минерала очень изменчивы. Почти все образцы содержат изометричные и призматические угловатые зерна с неровной, шероховатой и ямчатой поверхностью, с различными царапинами и трещинами, что, скорее всего, свидетельствует о механической обработке зерен в процессе транспортировки или седиментации (рис. 7). Преобладают

прозрачные и полупрозрачные зерна желтоватого цвета, в меньшем количестве содержатся зерна с розовым оттенком.

Циркон, как известно, всегда содержит примеси редкоземельных и радиоактивных элементов. Изучение этих компонентов в зернах циркона, по мнению ряда исследователей, имеет важное значение [Ляхович и др., 1992б; Ляхович, 2000; Осовецкий, 2001; Бадида и др., 2020б; Belousova et al., 2002]. Содержание и соотношение таких элементов, как Zr, Hf, лантаноидов и других, дают возможность выяснить петрографический состав материнских пород. Например, циркон из сиенитов, базальтов и кимберлитов характеризуется довольно низким содержанием гафния, а максимальные концентрации этого элемента могут быть в цирконе гранитоидов и пегматитов нефелиновых сиенитов [Бадида и др., 2020б]. Уровень содержания Zr и Hf в эндогенных породах обсуждал в своей работе В.В. Ляхович [2000], где он отмечал, что в основных и ультраосновных породах содержание гафния всегда значительно ниже, а величина  $ZrO_2/HfO_2$  – выше, по сравнению с цирконом из магматических пород корового генезиса – кислых или щелочных. Вариации величины  $ZrO_2/HfO_2$  в горных породах позволили сделать Г.Б. Левашову с соавторами [1989] вывод о существовании двух основных типов парагенезисов циркона – сиалического (гранитоидного) и мафического (базальтоидного).

Для установления типа пород, слагающих питающую ледниковую провинцию, были определены величины отношения  $ZrO_2/HfO_2$  в зернах циркона, позволяющие диагностировать материнские породы, за счет которых сформировалась полярная морена в долине р. Черной. Циркон в морене, по результатам микрозондового анализа, имеет следующий состав (мас. %):  $SiO_2$ –30.71–32.58;  $ZrO_2$ –61.97–67.59;  $HfO_2$ –0.8–2.11. В основной массе изученных зерен (90–95%) значения отношения  $ZrO_2/HfO_2$  составляют 45–75, что соответствует гранитоидному парагенезису. При изучении на катодолюминесцентном спектрометре наблюдаются призматические дипирамидальные зерна с хорошо развитой осцилляторной зональностью (рис. 8а, 8г), что может указывать на их магматическое происхождение. Для остальных 5–10% зерен значения отношения  $ZrO_2/HfO_2$  составляют 95–120, что характерно для базальтоидного парагенезиса. Среди них встречаются незональные зерна, представленные в основном обломками, но есть и вытянутое призматическое зерно с коэффициентом удлинения 1 : 4 (см. рис. 8б), а в одном

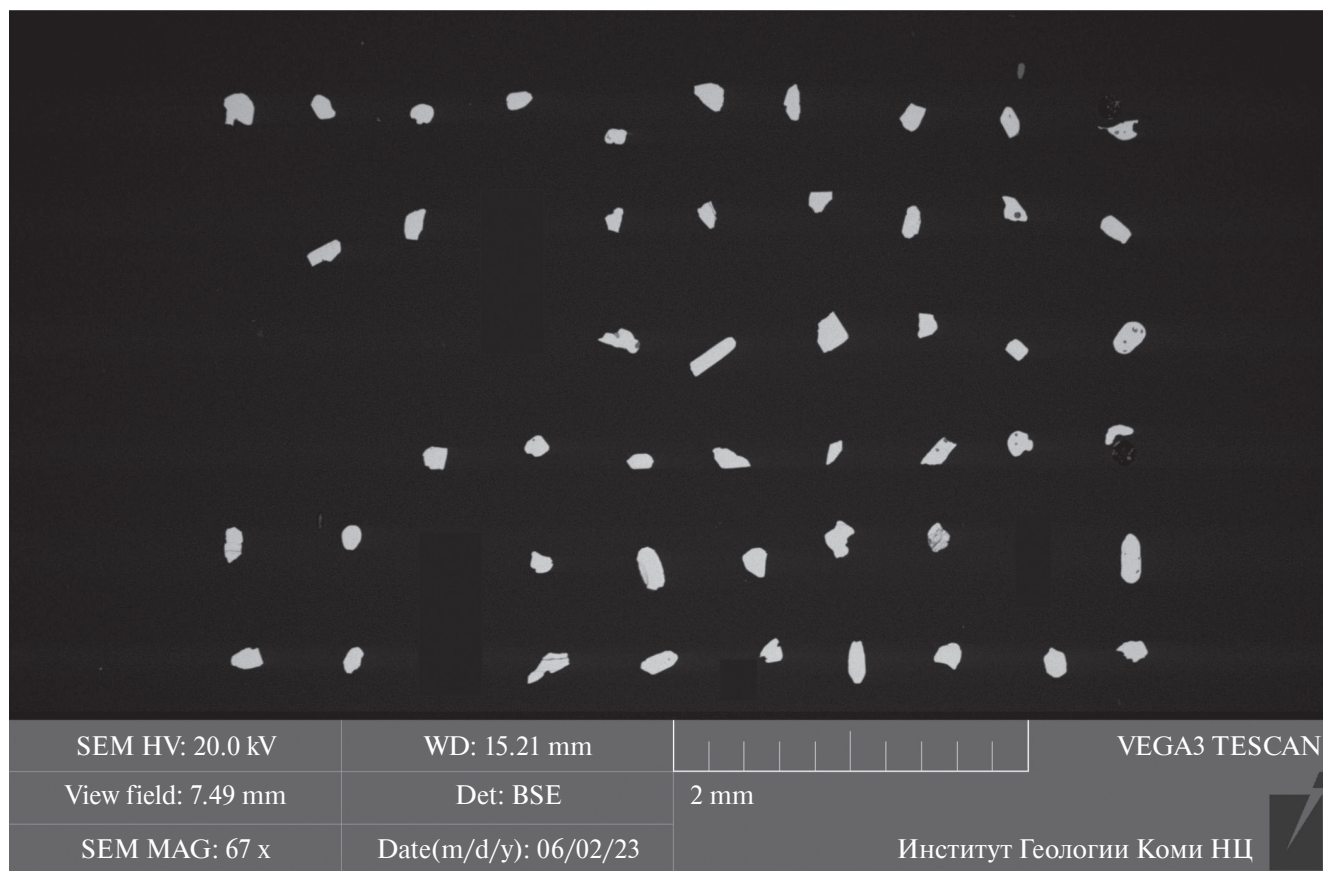


Рис. 7. Зерна циркона из полярной морены долины р. Черной (снимок в обратно рассеянных электронах).

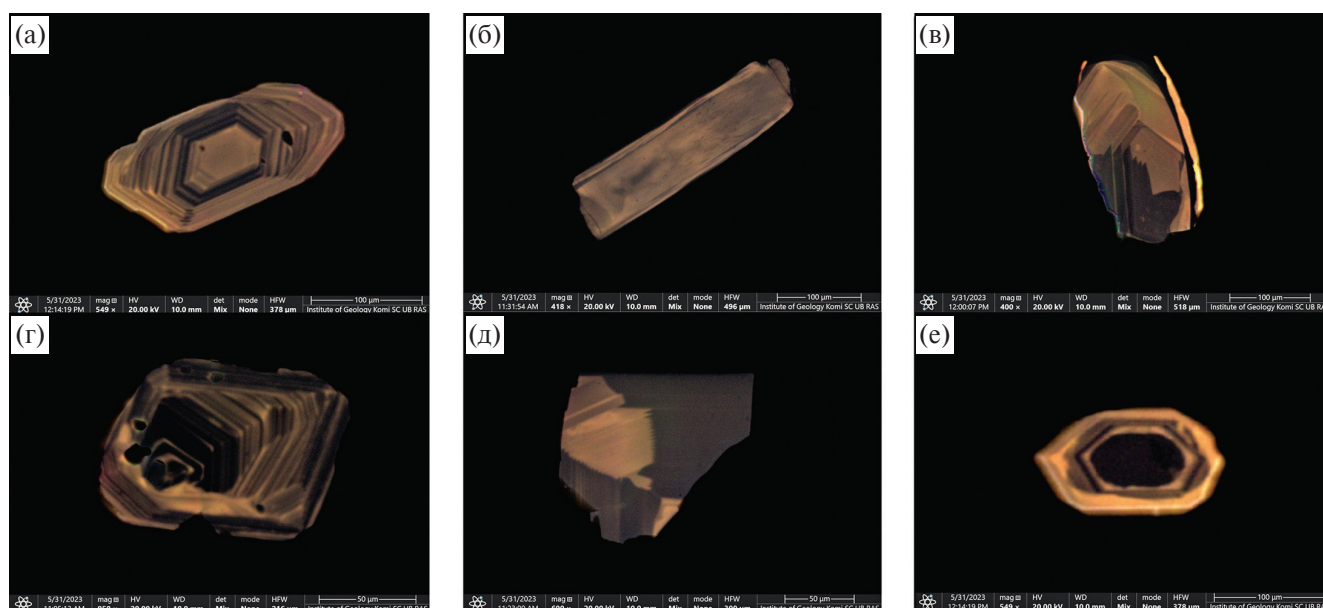


Рис. 8. Катодолюминесцентное изображение зерен циркона в полярной морене долины р. Черной из пород гранитоидного (а, г) и базальтоидного (б, д) парагенезисов и из метаморфических пород (в, е).

зерне отмечается секториальная зональность (см. рис. 8д). Помимо этого, следует отметить наличие унаследованных ядер и светлых оболочек, что может указывать на метаморфический генезис. Обычно зерна циркона из метаморфических пород (см. рис. 8в, 8е) сохраняют призматический облик, характерную зональность и реликтовые ядра, но уже при некотором сглаживании ребер и головок кристалла, а также появлении гомогенной каймы вокруг кристалла [Atlas..., 2003].

Таким образом, проведенное изучение типовых особенностей и химического состава гранатов и циркона позволило сделать некоторые выводы. Наибольшее количество фигуративных точек гранатов на диаграмме фациальной принадлежности Н.В. Соболева располагается в областях гранатов метаморфических пород амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций и указывает на возможный привнос зерен из метаосадочных, а также средних и кислых магматических пород. Это подтверждается и результатами анализа величины отношения  $ZrO_2/HfO_2$  в зернах циркона, поступление которых в морену было связано с магматическими породами кислого состава. В меньшем количестве в морене содержатся гранаты эклогитовой и гранулитовой фаций метаморфических пород. Конечно, нельзя исключать некоторые сложности, связанные с изучением детритового циркона. Прежде, чем попасть в четвертичные отложения, зерна циркона многократно переотлагались, участвуя в осадочном процессе. В связи с этим питающие ледниковые провинции можно установить только по результатам комплексного литологического изучения морен. Кроме того, в последнее время исследователи уделяют большое внимание определению возраста детритовых зерен циркона [Бадида и др., 2020б; Dendy et al., 2021].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полярная морена, развитая лишь на крайнем севере Тимано–Печоро–Вычегодского региона, характеризуется повышенным содержанием пелитовой фракции и имеет более тонкий гранулометрический состав по сравнению с широко развитыми здесь средненеоплейстоценовыми моренами. Обогащение морены глинистой фракцией обусловлено ассимиляцией ледником на пути своего движения преимущественно глинисто-алевритовых морских и озерных отложений приледниковых бассейнов. На побережье Баренцева моря морена имеет наиболее тонкозернистый состав за счет залегания на глинистых алевритах

с ленточной слоистостью. Наиболее грубый гранулометрический состав характерен для полярной морены в разрезах р. Куи, что обусловлено несогласным залеганием ее на морских сулинских песках.

Минералогические спектры тяжелой фракции основной морены на всей территории развития полярного оледенения однотипны и представлены эпидотом, гранатами, амфиболами, сидеритом и пиритом. Суммарные количества пирита и сидерита составляют 20–35% при перманентном доминировании сидерита над пиритом. Во время образования полярной морены в пределах распространения поздневалдайского оледенения терригенный материал поставлялся с Пай-Хоя, Новой Земли и, вероятно, шельфов Баренцева и Карского морей. И только на западе региона — в низовье р. Шапкиной, минеральный состав тяжелой фракции морены формировался за счет терригенного материала из Фенноскандинавской питающей провинции. Однако в целом в долине р. Шапкиной минеральный состав тяжелой фракции полярной морены одинаков, что обусловлено, как отмечалось, минеральным составом подстилающей вычегодской морены, для которой характерны сходные минеральные ассоциации на всей территории Печорской низменности.

Специфическая особенность полярной морены — присутствие в ней единичных обломков криноидно-мшанковых известняков — руководящих пород Новоземельской области сноса, и весьма выдержанная ориентировка удлиненных обломков пород с севера–северо-востока на большей части территории исследований. В нижнем течении р. Шапкиной полярная морена формировалась за счет обломочного материала, переотложенного ледником, двигавшимся с запада–северо-запада на восток–юго-восток в секторе  $270^\circ$ – $320^\circ$ .

Результаты изучения химического состава гранатов из полярной морены свидетельствуют о том, что эти минералы образуют две группы. Зерна первой группы имеют состав гроссуляр-альмандин, пироп-гроссуляр-альмандин, спессартин-гроссуляр-альмандин, гроссуляр-спессартин-альмандин, тогда как зерна второй группы относятся в основном к пироп-альмандину. В обеих группах основная масса гранатов поступала в морену из метаморфических пород амфиболитовой фации, но часть гранатов первого типа могла поставляться из магматических пород среднего и кислого составов, а гранатов второго типа — из метаморфических пород гранулитовой и эклогитовой фаций.

По значениям отношения  $ZrO_2/HfO_2$  в зернах циркона установлено, что поставщиками этого минерала в полярную морену могли служить преимущественно магматические породы кислого и основного состава, что подтверждается хорошо развитой в некоторых зернах осцилляторной зональностью. Наличие небольшого количества зерен циркона с унаследованными ядрами и вторичными каймами может свидетельствовать о том, что метаморфические породы также могли быть источником детритового циркона.

Для установления характерных типоморфных особенностей гранатов и циркона, подтверждающих их связь с удаленными ледниковыми питающими провинциями, предполагается дальнейшее изучение этих и других аксессуарных минералов в коренных породах Пай-Хой–Уральско–Новоземельского и Фенноскандинавского центров оледенения. Возможно, датирование зерен циркона из морены поможет подтвердить либо опровергнуть выводы о положении источников сноса при ее формировании, установленные на основании литологических критериев, полученных комплексом петрографо-минералогических методов.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке грантом РНФ № 23-27-00281 “Верхний неоплейстоцен и голоцен на севере Печорской низменности: седиментогенез, стратиграфия, палеогеография”.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреичева Л.Н. Основные морены Европейского Северо-Востока России и их литостратиграфическое значение. СПб.: Наука, 1992. 125 с.
- Андреичева Л.Н. Плейстоцен европейского Северо-Востока. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 323 с.
- Андреичева Л.Н. Плейстоценовые отложения в бассейне р. Шапкиной (Большеземельская тундра) // Литология и полез. ископаемые. 2007. № 1. С. 93–110.
- Андреичева Л.Н., Марченко-Вагапова Т.И., Буравская М.Н., Голубева Ю.В. Природная среда неоплейстоцена и голоцена Европейского северо-востока России. М.: ГЕОС, 2015. 224 с.
- Бадида Л.В., Маслов А.В., Мизенс Г.А. Реконструкция состава пород питающих провинций. Современные методы исследования тяжелых обломочных минералов (гранаты, турмалины, хромшпинелиды, рутилы, хлоритоиды, пироксены и амфиболы) // Литосфера. 2020а. Т. 20. № 2. С. 149–167.
- Бадида Л.В., Маслов А.В., Мизенс Г.А. Реконструкция состава пород питающих провинций. Современные методы исследования тяжелых обломочных минералов (цирконов, апатитов) // Литосфера. 2020б. Т. 20. № 3. С. 363–385.
- Белкин В.И., Рязанов И.В. Понятие и меры гранулометрической сортированности и однородности // Тезисы V Коми республиканской научной молодежной конференции. Сыктывкар, 1972. С. 184–185.
- Викуллова М.Ф. Общая характеристика глин // Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин. М., 1957. С. 7–90.
- Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: АН СССР, 1958. 191 с.
- Левашов Г.Б., Семенова Н.Н., Сапин В.И. Парагенезисы цирконов магматитов дорифейского кристаллического основания Сихотэ-Алиня // Докл. АН СССР. 1989. Т. 305. № 3. С. 712–716.
- Ляхович В.В., Угер П., Симан П. Гафний в цирконе гранитов рапакиви // Докл. АН. 1992а. Т. 325. № 3. С. 572–575.
- Ляхович В.В., Угер П., Симан П. Гафний и иттрий в цирконе из вертикального разреза Эльджуртинского гранитного массива (Северный Кавказ) // Геохимия. 1992б. № 10. С. 1503–1507.
- Ляхович В.В. “Цирконовый метод”: достоинства и недостатки. Статья II // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. геология. 2000. Вып. 9. С. 124–127.
- Осовецкий Б.М. Типоморфизм шлиховых минералов. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2001. 243 с.
- Породообразующие минералы. Ортосиликаты и кольцевые силикаты / Ред. У.А. Дир, Р.А. Хауи, Дж. Зусман. М.: Мир, Т. 1. 1965. 370 с.
- Руководство по рентгеновскому исследованию минералов / В.Н. Герасимов, Е.М. Доливо-Добровольская, И.Е. Каменцев, В.В. Кондратьева, А.Л. Косой, Г.И. Лесюк, И.В. Рождественская, Е.В. Строганов, С.К. Филатов, О.В. Франк-Каменецкая. Л.: Недра, 1975. 399 с.
- Рухин Л.Б. Основы литологии. Учение об осадочных породах. Л.: Недра, 1969. 703 с.
- Структура и динамика последнего ледникового покрова Европы / Отв. ред. Н.С. Чеботарева. М.: Наука, 1977. 142 с.
- Соболев Н.В. Парагенетические типы гранатов. М.: Наука, 1964. 203 с.
- Atlas of Zircon Textures / F. Corfu, J.M. Hanchar, P.-W.O. Hoskin, P. Kinny // Rev. Mineral. Geochem. 2003. V. 53(1). P. 469–500.

Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Fisher N.I. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type // Contrib. Mineral. Petrol. 2002. V. 143. P. 602–622.  
<https://doi.org/10.1007/s00410-002-0364-7>

Dendy S.N., Guenther W.R., Grimley D.A. et al. Detrital zircon geochronology and provenance of Pleistocene loess and contributing glacial sources, midcontinental USA / Quat. Sci. Rev. 2021. V. 273. 107201.  
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107201>

## LITHOSTRATIGRAPHIC CRITERIA OF THE POLAR MORaine OF SUBARCTIC REGIONS OF EUROPEAN RUSSIA AND TYPOMORPHIC FEATURES OF GARNETS AND ZIRCON

L. N. Andreicheva<sup>1,\*</sup>, N. N. Vorobyev<sup>1,\*\*</sup>

<sup>1</sup>*Yushkin Institute of Geology Komi Science Center Ural Branch of RAS,  
Pervomayskaya str., 54, Syktyvkar, 167982 Russia*

*\*e-mail: andreicheva@geo.komisc.ru*

*\*\*e-mail: v.nikita91@mail.ru*

The results of a comprehensive lithological study of the Upper Neopleistocene polar (Ostashkovo) moraine are considered: its textural, structural and mineral-petrographic features, as well as the chemical composition and typomorphism of garnets and zircons. Research was carried out to identify the lithostratigraphic criteria of this moraine and to substantiate the division and correlation of Quaternary sections. This moraine is widespread only in the extreme north of the Pechora Lowland, where it forms the relief of the day surface. Studied in the lower reaches of the Pechora and in the coastal outcrops of the Kuya, Chernaya, and Shapkina rivers. The moraine is characterized by a high content of pelitic fraction and has a finer composition than the Middle Neopleistocene moraines widely developed here. The mineralogical spectra of the moraine in the studied area are of the same type and are represented by epidote, garnets, amphiboles, siderite and pyrite. The total amounts of pyrite and siderite are increased to 20–35% with the permanent dominance of siderite over pyrite. A feature of the polar moraine is the presence in the petrographic spectrum of single fragments of the leading crinoid-bryozoan limestones of the Novaya Zemlya demolition area, and a very consistent orientation of elongated rock fragments from the north-northeast from the areas of Pai-Khoi–Novaya Zemlya and only the lower reaches of the river. Shapkina was overlapped by a glacial tongue from the northwest: from Fennoscandia and Northern Timan. The presence of garnets in the moraine is associated with their supply from metamorphic and certain types of igneous rocks. The predominant mass of zircon grains, in accordance with the  $ZrO_2/HfO_2$  ratio, was formed in igneous rocks of basic and felsic compositions. Zircons from metamorphic rocks are contained in subordinate quantities.

**Keywords:** polar moraine, lithological composition, mineral association, source province, zircon, garnet, typomorphism, chemical composition, indicator ratios of zirconium and hafnium