

УДК 549.621.9:551.332(470.13)

## ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНАТОВ И ЦИРКОНОВ В МОРЕНАХ СРЕДНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА НА СЕВЕРЕ И ЮГЕ ТИМАНО-ПЕЧОРО-ВЫЧЕГОДСКОГО РЕГИОНА

© 2021 г. Л. Н. Андреичева<sup>а</sup>, \*, М. Н. Буравская<sup>а</sup>, \*\*

<sup>а</sup>Институт геологии им. акад. Н.П. Юшкина Коми научного центра УрО РАН,  
ул. Первомайская, 54, Сыктывкар, 167982 Россия

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

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

Поступила в редакцию 17.12.2019 г.

После доработки 16.03.2020 г.

Принята к публикации 15.10.2020 г.

В статье рассмотрены результаты исследований типоморфизма и химического состава гранатов и цирконов из печорской (днепровской) и вычегодской (московской) морен среднего неоплейстоцена долин рр. Лаи (на севере) и Вычегды (на юге) Тимано-Печоро-Вычегодского региона, проведенных для обоснования детального расчленения и корреляции разрезов квартера. В моренах присутствуют гранаты двух цветовых групп: оранжевой и розовой. В моренах долины р. Лаи доминируют розовые гранаты, причем в печорской морене их больше, чем в вычегодской. Среди оранжевых гранатов в печорской морене преобладают пироп-альмандины с примесью гроссуляра, а в вычегодской морене оранжевые гранаты представлены пятью разновидностями, включая альмандин-спессартинную. Состав розовых гранатов преимущественно пироп-альмандиновый; в вычегодской морене выделен также гроссуляр. В долине р. Вычегды печорская морена обогащена розовыми гранатами, а в вычегодском горизонте преобладают гранаты оранжевой окраски. В обеих моренах доминируют гранаты альмандиновой группы, с переменным количеством примеси пироба и гроссуляра. Печорская морена, в отличие от вычегодской, содержит спессартин-гроссуляр-альмандиновую разновидность гранатов. Состав гранатов розовой цветовой группы в обоих горизонтах морен р. Вычегды практически идентичен. Результаты изучения цирконов позволили выявить сходство их морфологии и химического состава в обеих моренах. Присутствие цирконов в моренах связано с их перетолжением из дезинтегрированных магматических пород кислого, среднего и основного составов и метаморфических пород фундамента. Величины индикаторного отношения  $ZrO_2/HfO_2$  в цирконах из вычегодской морены северной части региона (р. Лая) свидетельствуют об их поступлении из метаморфических образований Северо-Западной (Фенноскандинавской) питающей провинции и Северного Тимана. В моренах долины р. Вычегды цирконы в основном перетолжены из кислых, средних и основных магматических пород, и только незначительная их часть поступила из метаморфических пород.

*Ключевые слова:* гранат, циркон, корреляция морен, типоморфизм, химический состав, индикаторные отношения циркония и гафния.

DOI: 10.31857/S0024497X21020026

Расчленение и корреляция четвертичных отложений, воссоздание палеогеографических обстановок квартера остаются актуальными проблемами четвертичной геологии. Для их решения необходимо комплексное литологическое изучение маркирующих горизонтов. В качестве таких горизонтов выделены основные морены, сформированные в результате ассимиляции терригенного материала различных питающих ледниковых провинций. Разработка литологических критериев расчленения разновозрастных морен возможна, поскольку в них сохраняются наиболее

типичные признаки питающих провинций трех классов: местных, транзитных и удаленных; и морена фактически представляет собой продукт первого этапа дифференциации пород гляциального генетического ряда.

Впервые, для получения литологической характеристики морен Европейского Северо-Востока России, выяснения их возраста и территориальных особенностей состава, они были детально исследованы комплексом методов. Литологические различия разновозрастных моренных горизонтов предопределяются их формиро-

ванием за счет обломочного материала разных питающих провинций, что позволяет использовать эти различия для целей литостратиграфии. Корреляция моренных горизонтов основана исключительно на литологических признаках, однако, в связи с площадной изменчивостью вещественного состава основных морен и сложностью его интерпретации, правомерность пространственных корреляций нередко представляется сомнительной. Между тем изменчивый состав морен обусловлен факторами гляциоседиментогенеза: гляциодинамическими обстановками и направлениями перемещения покровных ледников в разные эпохи неоплейстоцена; рельефом доледникового ложа; ассимиляцией пород удаленных, транзитных и местных питающих провинций, сложно сочетающихся в пространстве, а также особенностями радиально-маргинальной структуры ледникового покрова. Для более обоснованной корреляции морен на литологической основе были использованы методические подходы, разработанные Н.Г. Судаковой [1990] и предложенное ею районирование территории древнего материкового оледенения с составлением карт литорайонов – элементарных единиц литолого-палеогеографического районирования, обособленных по типу ледникового питания. В пределах литорайонов литологическая корреляция возможна в любых направлениях. Такая карта-схема была составлена нами для территории Тимано-Печоро-Вычегодского региона, что делает возможным проведение широких пространственных сопоставлений ледниковых комплексов.

Литологические особенности морен и учет факторов гляциоседиментогенеза позволяют достаточно уверенно проводить региональные и межрегиональные корреляции моренных горизонтов в двух направлениях: меридиональном (по ходу движения ледника) и широтном (субпараллельно границе оледенения) [Андреичева и др., 1997, 2015; Андреичева, 2002]. При меридиональной корреляции должна учитываться зональность геологической деятельности покровного ледника, а при широтной – влияние различных секторов разноса обломочного материала, обусловленных сложной радиальной структурой ледникового покрова [Судакова, 1990].

Вещественный состав морен на обширной и неоднородной в геологическом отношении территории Тимано-Печоро-Вычегодского региона определяется суммарным воздействием питающих ледниковых провинций трех классов – удаленных, транзитных и местных. В настоящее время особенности состава пород в провинциях всех этих классов установлены и хорошо изучены О.С. Кочетковым [1967] и Л.Н. Андреичевой [1994].

Расчленение и корреляция основных морен проводились по комплексу литологических признаков: петрографическому составу крупнообломочного материала, ориентировке удлиненных обломков пород, гранулометрическому составу мелкозема, минералогическим особенностям мелкопесчаной и глинистой фракций. Вместе с тем литологическая корреляция ледниковых горизонтов требует биостратиграфического и литостратиграфического обоснования, а также учета закономерностей ледникового литогенеза. Кроме того, корреляционная информативность текстурно-структурных особенностей и отдельных показателей вещественного состава основных морен различна. Наиболее устойчивыми и регионально выдержанными литологическими признаками морен, позволяющими их коррелировать, являются: петрографическое сходство крупнообломочного материала, однородная ориентировка удлиненных обломков пород, наличие руководящих валунов, примерно одинаковое соотношение дальнепринесенных и местных компонентов в моренах. По данным текстурно-структурного, минералого-петрографического анализов и замерам ориентировки обломков пород в моренах, было определено местоположение центров оледенения. Кроме того, для корреляции моренных горизонтов весьма результативным оказалось радиологическое датирование обломочного материала основных морен, которое впервые было применено нами на территории Тимано-Печоро-Вычегодского региона [Андреичева, 1992; Андреичева, Андреичев, 1983, 2013].

В результате проведенных исследований было установлено, что морены разного возраста на Европейском Северо-Востоке России формировались за счет обломочного материала двух ледниковых питающих провинций: Северо-Восточной (Пай-Хой-Уральско-Новоземельской) и Северо-Западной (Фенноскандинавской).

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Крупномасштабное геологическое картирование и создание нового поколения геологических карт в настоящее время требуют более детального стратиграфического расчленения четвертичных отложений, с учетом генетических признаков, и обоснованной их корреляции. Для этих целей необходимо совершенствование традиционных и применение новых методов и подходов в области литостратиграфии морен. В дополнение к традиционному комплексу литологических методов исследования нами начато изучение типоморфизма и химического состава аксессуарных минералов в моренах и их использование для установ-

ления типа и расположения питающих ледниковых провинций. При этом мы исходили из постулата о том, что акцессорные минералы, поступавшие в морены из Северо-Западной и Северо-Восточной терригенно-минералогических провинций, различаются по своим типоморфным особенностям и химическому составу, что позволяет связать их с определенными центрами оледенений и подтвердить, либо опровергнуть установленную ранее стратиграфическую приуроченность морен. Этот метод предлагается использовать в тех случаях, когда традиционный набор литологических методов исследования не позволяет провести детальное стратиграфическое расчленение и обосновать корреляцию морен.

На первом этапе исследований выявлены типоморфные особенности и изучен химический состав гранатов и цирконов. Изучение проводилось в ЦКП “Наука” Института геологии Коми НЦ УрО РАН “Наука” на сканирующем электронном микроскопе фирмы JEOL (модель JSM-6400) с энергетическим спектрометром Link: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда  $10^{-9}$  А, стандарт эталонов Microspec (оператор В.Н. Филиппов). Микрофотографии минералов в сканирующем микроскопе получены в режиме вторичных электронов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования по установлению источников сноса обломочного материала, расчленению и корреляции осадочных толщ по типоморфным особенностям акцессорных минералов ранее проводились А.С. Мортонем [Morton, 1958, 1985] и Б.М. Осовецким [2001].

В настоящей работе представлены результаты изучения типоморфизма и химического состава гранатов и цирконов, выделенных из тяжелой фракции морен среднего неоплейстоцена – печорской ( $Q_{II}^{2}pc$ ) и вычегодской ( $Q_{II}^{4}vc$ ), вскрывающихся в долинах рек Лаи и Вычегоды Тимано-Печоро-Вычегодского региона (рис. 1). Ранее были получены первые, вполне обнадеживающие результаты [Андреичева, Буравская, 2017].

### *Типоморфные особенности гранатов*

В составе минеральной ассоциации тяжелой фракции морен гранаты играют важную роль, составляя от 5 до 25%. Все зерна гранатов представлены двумя цветовыми группами. Первая группа включает гранаты оранжевой и светло-оранжевой окраски, вторая группа состоит из розовых, светло-розовых и практически бесцветных зерен.

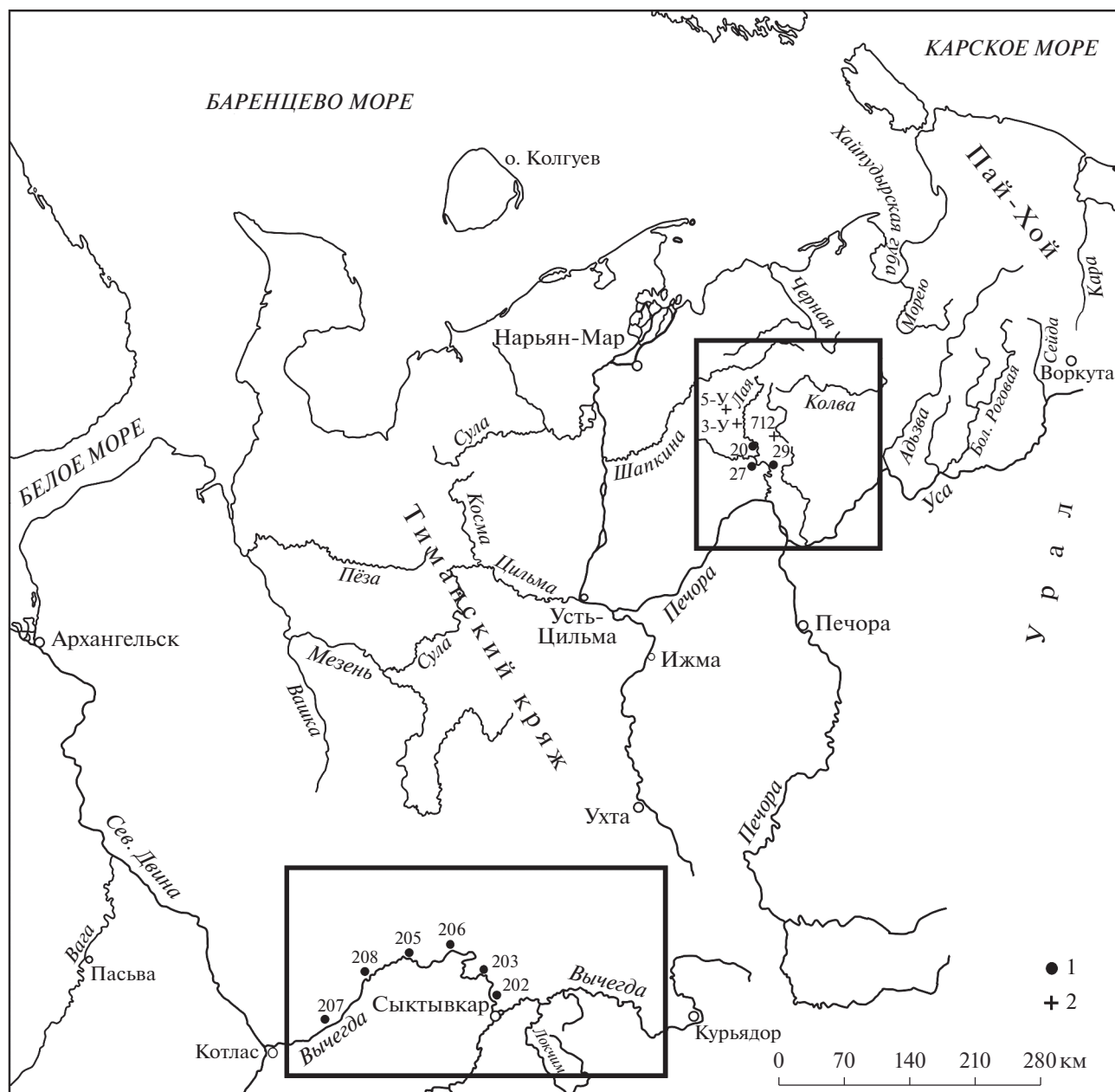
В печорской морене р. Лаи первую цветовую группу гранатов формируют угловато-окатанные прозрачные обломки (рис. 2а, б). Вторая группа представлена в основном остроугольными и угловато-окатанными обломками бледно-розовых гранатов со стеклянным блеском (см. рис. 2в, г). Соотношение гранатов оранжевой и розовой цветовой групп составляет 1 : 10. Химический состав минералов с пересчетом на минеральный состав гранатов (табл. 1) позволил установить, что первая цветовая группа сложена гроссуляр-пироп-альмандином (50%), а также гроссуляр-спессартин-альмандином и гроссуляр-альмандин-пиропом, составляющими по 25% (рис. 3). Среди гранатов второй цветовой группы абсолютно доминирует пироп-альмандин – 90%, на гроссуляр-пироп-альмандин приходится 10%.

В вычегодской морене р. Лаи оранжевые и светло-оранжевые гранаты представлены прозрачными зернами, угловато-окатанными, с гладкой поверхностью (см. рис. 2д, е). По минеральному составу среди них выделены пять разновидностей гранатов: пироп-гроссуляр-альмандин (43%) доминирует; гроссуляр-пироп-альмандин, гроссуляр-альмандин-спессартин, гроссуляр-андрадит и альмандин-спессартин составляют примерно по 14.3% (см. рис. 3).

Вторая цветовая группа состоит из остроугольных и угловато-окатанных зерен преимущественно светло-розовой окраски со стеклянным блеском и гладкой (редко с шероховатой матовой) поверхностью (см. рис. 2ж, з).

Эту группу образуют пироп-альмандин (56%), гроссуляр-пироп-альмандин (33%), а также гроссуляр (11%), представленный бесцветными зернами. Соотношение оранжевых и розовых гранатов 1 : 4.

В печорской морене р. Вычегоды группа оранжевых гранатов сложена в основном угловато-окатанными зернами с неровной поверхностью (рис. 4а, б). Результаты пересчета химического состава гранатов на минеральный (табл. 2) указывают на присутствие в первой цветовой группе гранатов трех разновидностей (рис. 5): пироп-гроссуляр-альмандин и гроссуляр-пироп-альмандин (по 40%), спессартин-гроссуляр-альмандин (20%). Для группы розовых гранатов характерны прозрачные, реже полупрозрачные остроугольные зерна с гладкой поверхностью, на которой иногда наблюдаются шероховатости в виде углублений и бугорков (см. рис. 4в, г). В этой группе гранатов выделены четыре разновидности. Наиболее значительная часть гранатов представлена пироп-альмандином (60%), в меньших количествах присутствуют гроссуляр-альмандин-пироп (20%), а

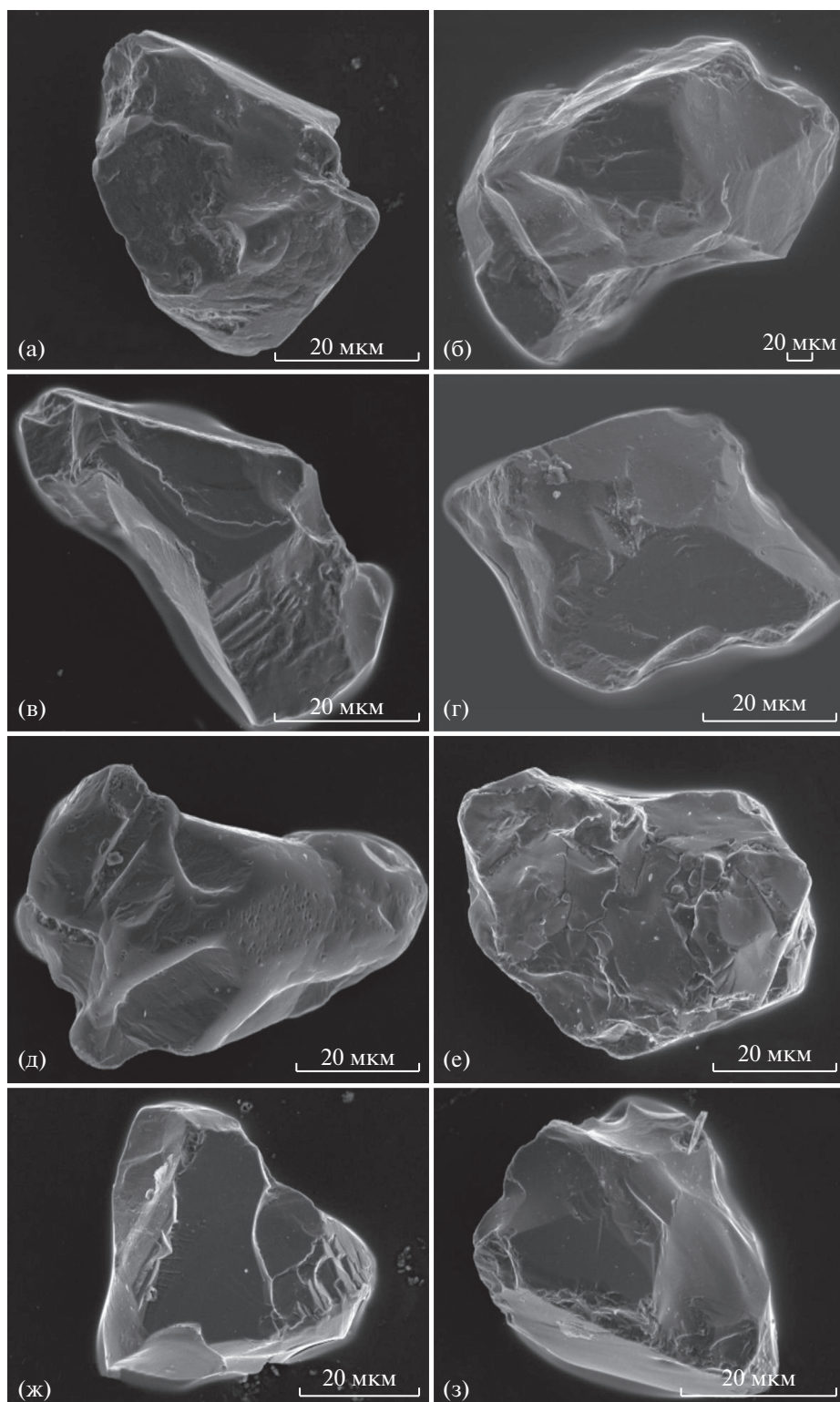


**Рис. 1.** Схема расположения изученных разрезов среднеплейстоценовых отложений.  
1 – обнажения, 2 – скважины.

также пироп-гроссуляр-альмандин и гроссуляр-пироп-альмандин (по 10%). Соотношение гранатов первой и второй цветовой групп 1 : 2.

В вычегодской морене р. Вычегды гранаты первой цветовой группы представлены угловато-окатанными, редко хорошо окатанными прозрачными зернами, с гладкой (у единичных зерен с шероховатой) поверхностью (см. рис. 4д, е). По минеральному составу в группе оранжевых гранатов содержатся в равных количествах (по 50%)

гроссуляр-пироп-альмандин и пироп-гроссуляр-альмандин (см. рис. 5). Вторая цветовая группа включает остроугольные и угловато-окатанные прозрачные обломки гранатов с гладкой поверхностью и стекляннным блеском (см. рис. 4ж, з) четырех разновидностей: пироп-альмандина (44.5%), пироп-гроссуляр-альмандина и гроссуляр-альмандин-пиропа (по 22%), гроссуляр-пироп-альмандина (11.5%). Соотношение оранжевых и розовых гранатов 2 : 1.



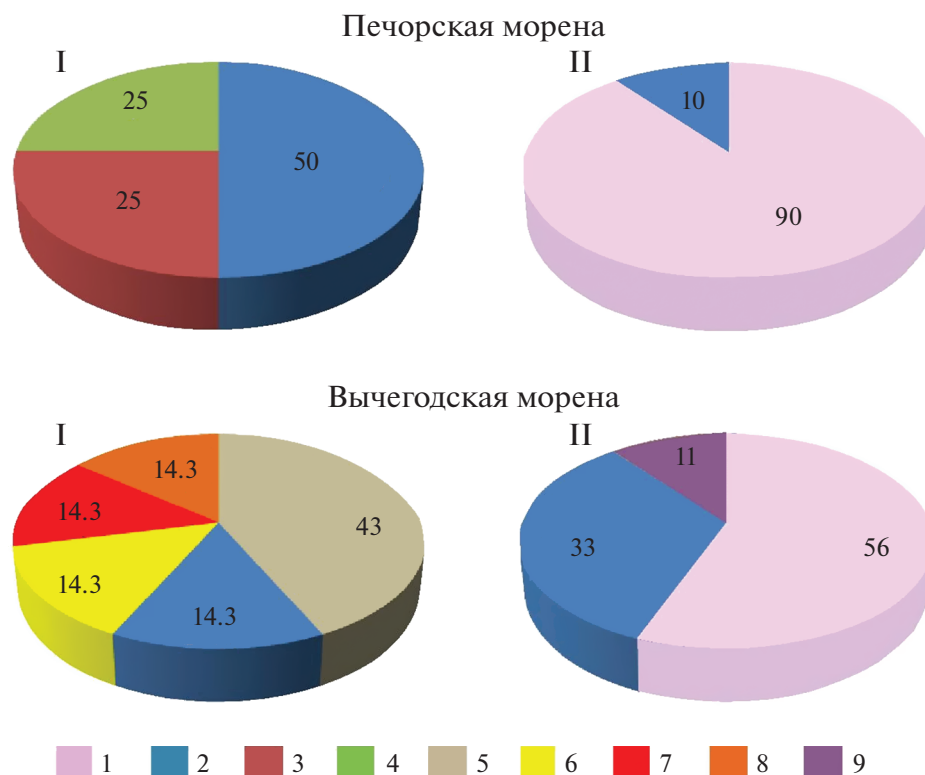
**Рис. 2.** Гранаты из среднелепесточных морен р. Лаи.  
а–г – гранаты из печорской морены: а, б – гранаты первой цветовой группы (оранжевые);  
в, г – гранаты второй цветовой группы (розовые); д–з – гранаты из вычегодской морены:  
д, е – гранаты первой цветовой группы; ж, з – гранаты второй цветовой группы.

Таблица 1. Химический состав гранатов в моренах р. Лаи и результаты пересчета на минеральный состав

Цветовая группа	Компоненты, мас. %						Минеральный состав, %*				
	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Пи (Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> )	Ал (Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> )	Сп (Mn <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> )	Гр (Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> )	Ан (Ca <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> )
<b>Печорский горизонт</b>											
Оранжевая	Гроссуляр-пироп-альмандин										
	5.65	22.01	36.0	6.53	1.77	28.06	22.42	54.81	4.10	17.01	1.68
	3.83	20.88	35.0	6.54	0.63	33.13	15.65	63.85	1.44	15.83	3.24
	Гроссуляр-альмандин-пироп										
	11.69	22.30	36.54	5.29	0.45	23.75	43.66	42.64	0.85	10.84	2.03
	Гроссуляр-спессартин-альмандин										
1.41	21.64	35.6	9.05	13.39	18.91	5.52	37.93	30.34	25.69	0.52	
Розовая	Пироп-альмандины										
	5.99	21.26	34.41	3.21	0.62	34.49	23.14	63.87	1.37	8.68	3.25
	10.15	22.28	35.90	1.32	0.71	29.65	37.50	55.74	1.51	4.99	2.26
	9.68	22.23	35.98	1.20	0.32	30.26	38.09	57.83	0.72	2.31	1.06
	13.18	22.30	36.50	1.46	0.43	26.13	46.13	48.48	1.01	1.80	2.50
	6.21	22.35	35.21	0.69	0.85	34.71	25.41	70.76	2.01	1.28	0.55
	8.35	22.32	35.75	1.17	0.74	31.68	33.16	62.01	1.61	1.90	1.33
	7.04	21.56	34.75	3.23	1.83	31.62	27.52	59.17	4.16	6.24	2.93
	7.59	21.15	34.43	1.23	0.84	34.78	29.69	64.69	1.91	0.88	2.85
	12.23	22.61	36.66	1.64	0.26	26.61	46.04	48.99	0.52	3.44	1.03
	Гроссуляр-пироп-альмандин										
8.57	22.21	37.37	5.98	0.80	25.08	33.75	47.50	1.97	14.11	2.67	
<b>Вычегодский горизонт</b>											
Оранжевая	Пироп-гроссуляр-альмандины										
	4.32	21.55	35.06	8.10	0.75	30.23	17.01	58.25	1.76	21.68	1.32
	2.99	22.02	35.41	7.74	2.17	29.69	12.23	60.07	5.04	21.72	0.95
	3.87	21.47	35.40	7.19	2.73	29.36	15.65	57.18	6.22	18.97	2.00
	Гроссуляр-пироп-альмандин										
	6.50	21.62	36.16	6.39	0.54	28.80	26.03	54.72	1.07	15.51	2.67
	Гроссуляр-альмандин-спессартин										
	1.40	20.13	35.65	4.61	25.61	12.63	5.74	22.12	58.78	10.05	3.32
	Гроссуляр-андрадит										
	0.45	10.40	37.70	30.97	0.80	19.84	1.81	4.99	8.78	34.27	50.17
Альмандин-спессартин											
1.14	22.03	36.12	1.73	22.02	16.97	4.93	36.45	53.35	5.28	0.00	
Розовая	Пироп-альмандины										
	4.89	21.21	34.06	1.16	1.69	37.00	19.51	71.45	3.88	3.06	2.11
	7.93	22.74	35.73	2.48	0.67	30.47	31.28	60.38	1.42	6.65	0.28
	10.16	22.11	35.95	1.69	0.39	29.72	39.13	55.31	0.87	3.40	1.31
	8.71	21.56	34.90	1.10	0.69	33.05	33.85	61.64	1.39	1.31	1.82
	7.43	21.84	35.64	2.25	0.46	32.40	29.75	62.73	1.08	4.74	1.72
	Гроссуляр-пироп-альмандины										
	4.13	22.48	35.99	6.35	2.23	28.83	16.90	59.01	5.30	18.25	0.56
	7.17	22.08	36.21	6.37	0.81	27.37	27.99	52.29	1.76	15.58	2.38
	4.05	21.98	36.46	5.59	1.26	30.68	17.13	62.97	3.03	15.20	1.69
Гроссуляр											
0.55	19.98	38.96	33.03	0.49	7.01	2.01	6.38	1.18	84.91	5.54	

Примечание. \* Минеральный состав: Пи – пироп, Ал – альмандин, Сп – спессартин, Гр – гроссуляр, Ан – андрадит.





**Рис. 3.** Минеральный состав гранатов в среднеплейстоценовых моренах р. Лаи.

I – гранаты первой цветовой группы – оранжевые и светло-оранжевые, II – гранаты второй цветовой группы – розовые и светло-розовые.

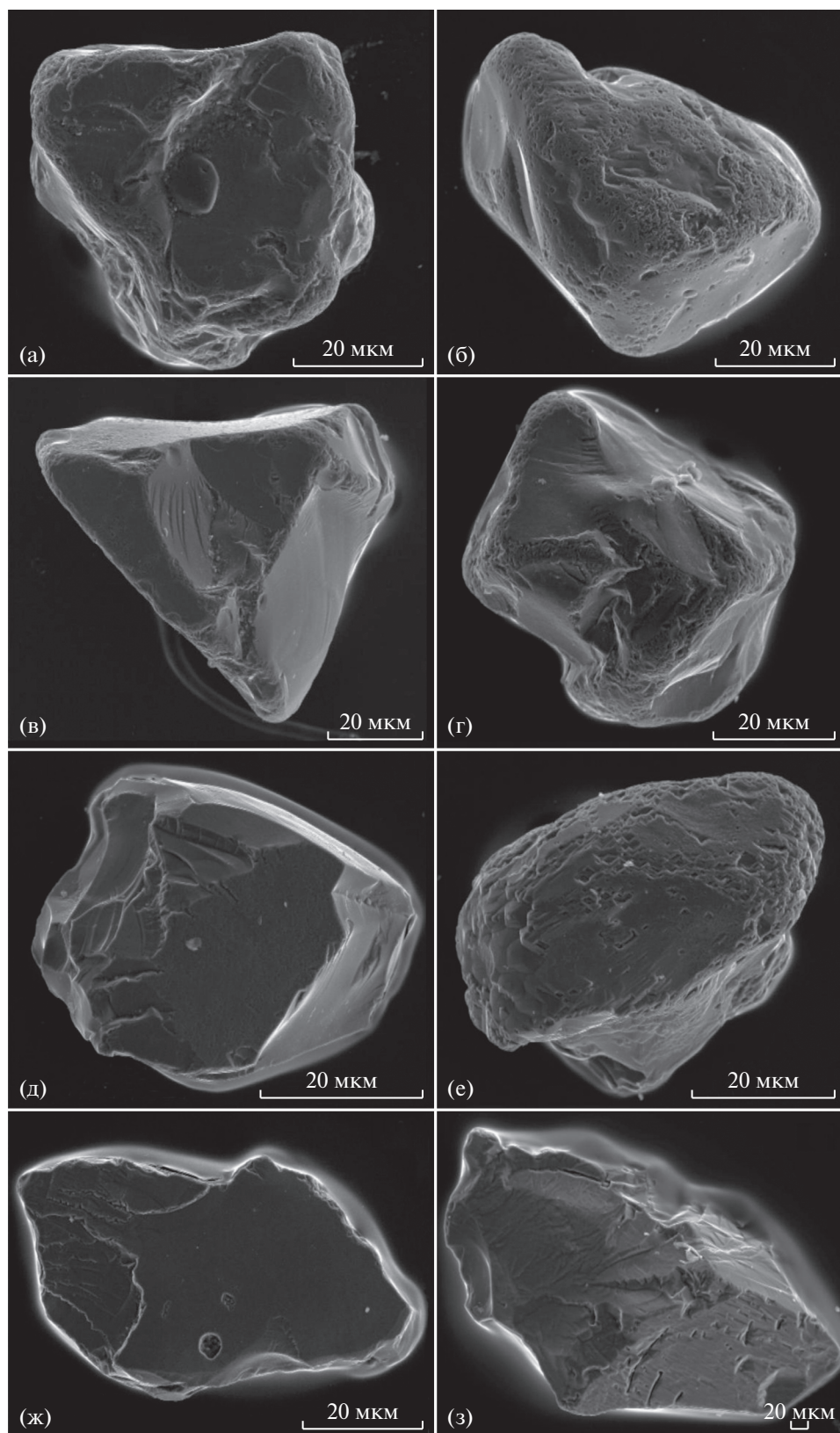
1 – пироп-альмандин, 2 – гроссуляр-пироп-альмандин, 3 – гроссуляр-альмандин-пироп, 4 – гроссуляр-спессартин-альмандин, 5 – пироп-гроссуляр-альмандин, 6 – гроссуляр-альмандин-спессартин, 7 – гроссуляр-андрадит, 8 – альмандин-спессартин, 9 – гроссуляр.

#### Типоморфные особенности циркона

Содержание цирконов в тяжелой фракции обоих моренных горизонтов незначительное и колеблется от долей процента до 1.5%, в редких случаях составляя 2–4%. Циркон является одним из наиболее информативных акцессорных минералов, и его типохимические признаки используются для установления источников питания при формировании обломочных пород. В обоих горизонтах морен цирконы характеризуются сходной морфологией и химическим составом и представлены округлыми и удлинёнными зёрнами, варьирующими по окраске от светло- до темно-розовых, а также обломками подобных зёрен, в разной степени окатанными (рис. 6). Встречаются также непрозрачные желтые и светло-коричневые кристаллы цирконов с неровной, шероховатой и ямчатой поверхностью, с различными царапинами и трещинами, что, скорее всего, свидетельствует о механическом окатывании зёрен.

При изучении цирконов важное значение имеет соотношение в них содержания циркония и гафния, так как, по мнению ряда исследовате-

лей [Ляхович и др., 1992а; Осовецкий, 2001], гафний в них наследуется из материнских пород. В связи с этим нами были определены величины отношения  $ZrO_2/HfO_2$  в цирконах для диагностики пород, за счет которых были сформированы морены, и определения местоположения питающих ледниковых провинций во время их образования, а также проведено сопоставление этих величин в разновозрастных ледниковых горизонтах (табл. 3). По мнению Г.Б. Левашова с соавторами [1989], существуют два главных типа парагенезисов цирконов кристаллического основания коры – сиалический (гранитоидный) и мафический (базальтоидный). В гранитоидном парагенезисе цирконы характеризуются величиной 57–95 отношения  $ZrO_2/HfO_2$ , в базальтоидном – 97–135. В цирконах из габбро-амфиболитов и габбро-норитов кристаллического основания Сихоте-Алиня значения отношения  $ZrO_2/HfO_2$  составляют 118–135. По данным В.В. Ляховича и А.А. Вишневого [1990], в цирконах архейских кристаллических сланцев и пироксеновых гнейсов Прибайкалья величины отношения  $ZrO_2/HfO_2$  со-



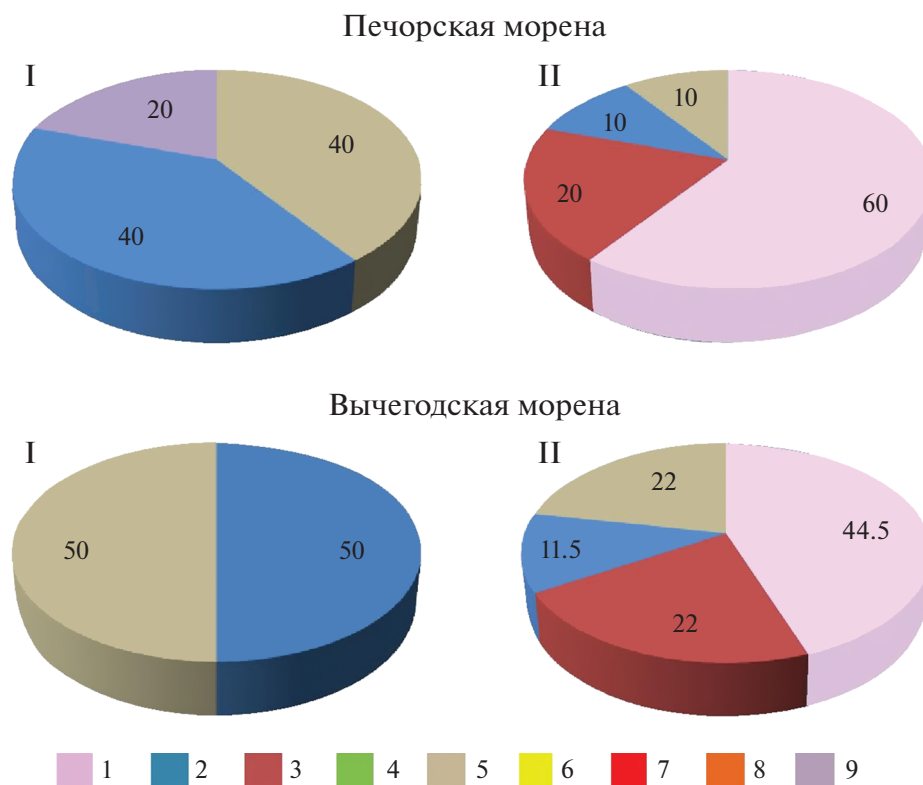
**Рис. 4.** Гранаты среднеплейстоценовых морен р. Вычегды.  
 а–г – гранаты из печорской морены: а, б – гранаты первой цветовой группы (оранжевые);  
 в, г – гранаты второй цветовой группы (розовые); д–з – гранаты из вычегодской морены:  
 д, е – гранаты первой цветовой группы; ж, з – гранаты второй цветовой группы.



**Таблица 2.** Химический состав гранатов в моренах р. Вычегды и результаты пересчета на минеральный состав

Цветовая группа	Компоненты, мас. %						Минеральный состав, %*					
	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Пи	Ал	Сп	Гр	Ан	
<b>Печорский горизонт</b>												
Оранжевая	Пироп-гроссуляр-альмандины											
	4.43	21.26	34.95	8.01	2.38	28.96	17.52	54.41	5.37	19.58	3.11	
	3.36	21.87	35.44	11.52	0.51	27.29	13.27	52.83	1.22	30.31	2.35	
	Гроссуляр-пироп-альмандины											
	5.68	21.82	35.53	5.68	0.49	30.79	22.77	59.79	1.07	13.43	2.94	
	4.68	21.29	34.94	7.36	0.71	31	18.59	58.95	1.58	17.19	3.68	
	Спессартин-гроссуляр-альмандин											
	0.44	20.96	36.19	12.65	8.12	21.65	1.79	41.79	18.93	33.75	3.75	
	Розовая	Пироп-альмандины										
		10.99	22.20	36.09	1.71	0.56	28.49	41.28	52.79	1.26	2.30	2.38
11.20		22.31	35.46	1.36	0.45	29.23	41.90	53.39	1.00	1.71	2.02	
4.06		21.57	34.66	1.49	3.54	34.69	16.69	70.55	8.39	2.16	2.22	
11.64		22.39	35.83	1.09	0.43	28.61	43.75	52.50	0.91	0.97	1.87	
11.83		22.34	35.8	1.57	0.44	28.02	43.92	50.84	1.015	1.435	2.79	
5.13		20.75	32.93	0.96	1.51	38.73	20.42	73.36	3.46	0.17	2.6	
Гроссуляр-альмандин-пиропы												
17.69		23.40	38.67	5.41	0.30	14.55	61.28	24.59	0.65	12.00	1.49	
11.86		22.52	36.24	7.81	0.36	20.93	42.73	36.51	0.66	17.91	2.21	
Гроссуляр-пироп-альмандин												
9.83		22.14	36.25	6.07	0.68	25.02	36.95	45.42	1.36	13.73	2.54	
Пироп-гроссуляр-альмандин												
4.43		21.65	35.19	7.95	1.47	29.32	17.51	56.56	3.33	20.51	2.10	
<b>Вычегодский горизонт</b>												
Оранжевая	Гроссуляр-пироп-альмандины											
	7.01	21.47	35.76	8.65	0.38	26.74	26.98	48.46	0.69	18.73	5.16	
	4.99	21.54	35.01	7.14	0.76	30.57	19.78	58.38	1.57	17.14	3.14	
	Пироп-гроссуляр-альмандины											
	4.16	22.10	35.83	9.64	1.45	26.84	16.4	52.73	3.36	25.96	1.57	
	5.09	22.22	35.93	9.93	0.69	26.16	20.02	50.54	1.57	26.31	1.57	
Розовая	Пироп-альмандины											
	7.06	21.33	35.47	0.85	0.61	34.7	28.79	67.39	1.46	—	2.37	
	3.91	22.69	36.54	2.11	2.31	32.45	16.99	70.66	5.79	6.56	—	
	7.26	22.0	35.76	3.95	0.89	30.15	28.51	58.28	1.94	9.41	1.86	
	10.4	21.84	36.06	0.93	0.33	30.45	40.42	56.42	0.71	0.35	2.11	
	Гроссуляр-альмандин-пиропы											
	11.13	22.62	37.53	8.18	0.5	20.04	41.34	35.92	1.03	19.68	2.05	
	12.5	23.16	37.13	7.24	0.42	19.57	45.09	35.03	0.99	18.14	0.76	
	Гроссуляр-пироп-альмандин											
	8.5	22.11	35.86	6.83	0.28	26.44	32.22	48.67	0.52	16.04	2.55	
	Пироп-гроссуляр-альмандины											
	2.87	21.67	35.23	8.26	3.82	28.15	11.51	55.98	8.65	22.3	1.58	
	4.1	21.81	35.27	7.8	1.0	30.03	16.5	59.04	2.13	20.21	2.13	

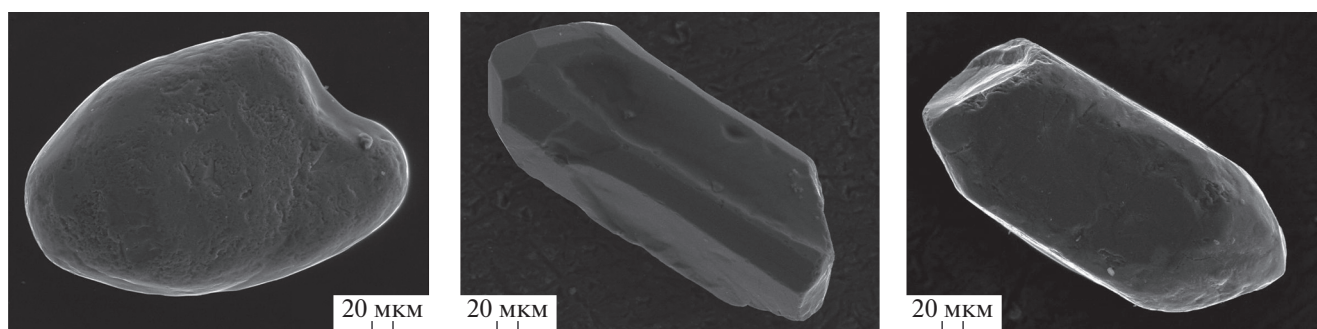
Примечание. \* Минеральный состав: Пи – пироп, Ал – альмандин, Сп – спессартин, Гр – гроссуляр, Ан – андрадит.



**Рис. 5.** Минеральный состав гранатов в среднеплейстоценовых моренах р. Вычегды.

I – гранаты первой цветовой группы – оранжевые и светло-оранжевые, II – гранаты второй цветовой группы – розовые и светло-розовые.

1 – пироп-альмандин, 2 – гроссуляр-пироп-альмандин, 3 – гроссуляр-альмандин-пироп, 4 – гроссуляр-спессартин-альмандин, 5 – пироп-гроссуляр-альмандин, 6 – гроссуляр-альмандин-спессартин, 7 – гроссуляр-андрадит, 8 – альмандин-спессартин, 9 – спессартин-гроссуляр-альмандин.



**Рис. 6.** Цирконы из среднеплейстоценовых морен рр. Лаи и Вычегды.

ставляют 272–279 и иногда достигают 1320–1330, что нехарактерно для цирконов коровых пород любого состава.

В печорской морене р. Лаи содержатся цирконы, которые, по результатам микрозондовых исследований, имеют следующий химический состав (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 32.14–33.67,  $\text{CaO}$  – 0.01–0.49,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0.15–1.30,  $\text{ZrO}_2$  – 64.59–65.98,  $\text{HfO}_2$  – 0.57–1.93. В большей части проанализированных

цирконов из печорской морены значения отношения  $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$  находятся в пределах интервала 34–115 (см. табл. 3, рис. 7), что соответствует цирконам магматических пород кислого, среднего и основного составов [Ляхович, 1968; Ляхович и др., 19926].

В вычегодской морене р. Лаи химический состав цирконов следующий (мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 32.14–33.46,  $\text{CaO}$  – 0.02–0.39,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0.14–2.28,

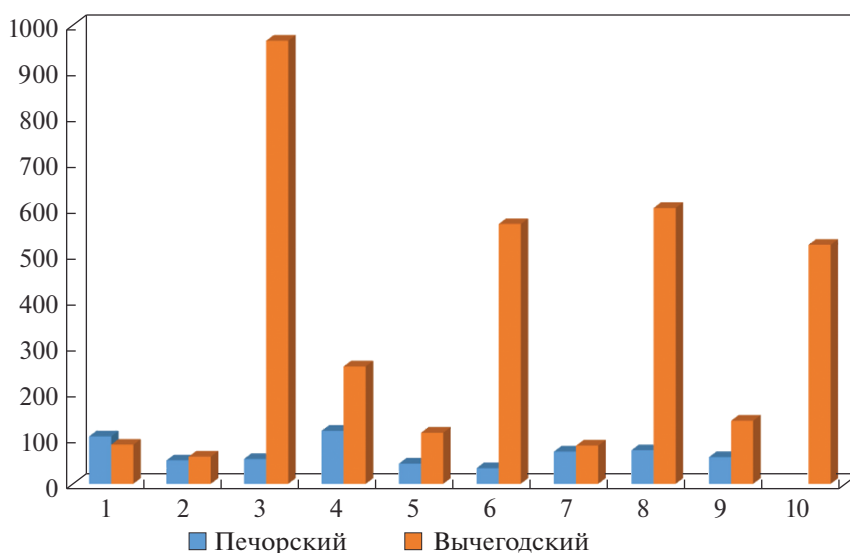
**Таблица 3.** Содержание  $ZrO_2$ ,  $HfO_2$  и величины их отношения в цирконах из среднелепистоценовых морен долин рр. Лай и Вычегды

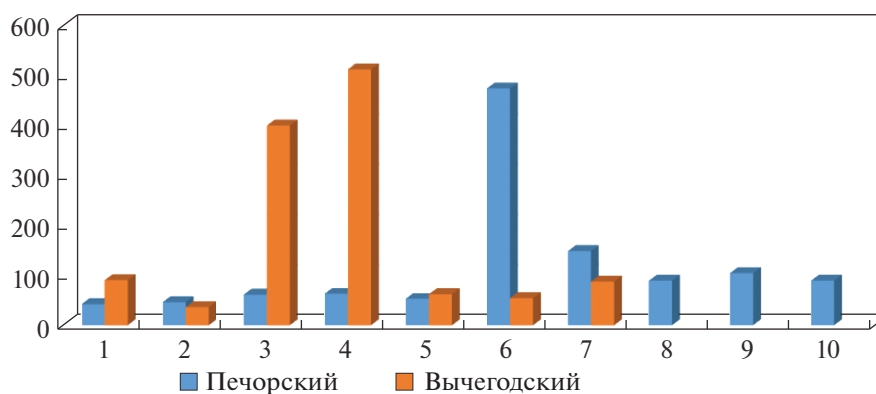
Горизонт	р. Лай						р. Вычегда					
	Печорский			Вычегодский			Печорский			Вычегодский		
№ образца	$ZrO_2$	$HfO_2$	$ZrO_2/HfO_2$	$ZrO_2$	$HfO_2$	$ZrO_2/HfO_2$	$ZrO_2$	$HfO_2$	$ZrO_2/HfO_2$	$ZrO_2$	$HfO_2$	$ZrO_2/HfO_2$
1	65.98	0.64	103	65.76	0.77	85	65.84	1.56	42	65.80	0.82	80
2	65.86	1.29	51	66.02	1.11	59	65.96	1.42	46	66.07	1.86	36
3	65.94	1.21	55	67.35	0.07	962	66.27	1.09	61	67.66	0.17	398
4	65.77	0.57	115	66.37	0.26	255	66.29	1.05	63	66.36	0.13	510
5	64.77	1.59	41	66.39	0.6	111	65.15	1.23	53	66.55	1.08	62
6	65.21	1.93	34	67.73	0.12	564	66.13	0.14	472	65.86	1.23	54
7	65.90	1.21	55	66.50	0.8	83	66.47	0.45	148	66.44	0.76	87
8	64.59	0.88	73	65.85	0.11	599	66.22	0.74	89			
9	65.34	1.13	58	66.30	0.51	130	65.67	0.63	104			
10				67.42	0.13	519	66.76	0.75	89			

$ZrO_2$  – 65.80–67.70,  $HfO_2$  – 0.07–1.11. Цирконы характеризуются широким диапазоном величин индикаторного отношения  $ZrO_2/HfO_2$ , варьирующих от 59 до 962 при доминировании высоких значений. Величины  $ZrO_2/HfO_2 > 270$  характерны для цирконов, содержащихся в породах метаморфического комплекса фундамента [Осовецкий, 2001]. В.В. Ляхович с соавторами [1992а] изучали цирконы из архейских пироксеновых гнейсов и сланцев Прибайкалья с величинами индикаторного отношения 272–1300.

Печорская морена в бассейне р. Вычегды содержит цирконы со следующим химическим составом (мас. %):  $SiO_2$  – 32.36–33.49,  $CaO$  – 0.03–0.31,  $Fe_2O_3$  – 0.02–0.48,  $ZrO_2$  – 65.15–66.76,  $HfO_2$  – 0.14–1.56. В цирконах из печорского горизонта величина отношения  $ZrO_2/HfO_2$  варьирует в пределах 42–472 (см. табл. 3, рис. 8).

В вычегодской морене р. Вычегды в химическом составе цирконов установлены (мас. %):  $SiO_2$  – 31.62–33.37,  $CaO$  – 0.04–0.16,  $Fe_2O_3$  – 0.01–

**Рис. 7.** Соотношение  $ZrO_2$  и  $HfO_2$  в цирконах из моренных горизонтов долины р. Лай. По горизонтали – номер анализа; по вертикали – значение отношения  $ZrO_2/HfO_2$ .



**Рис. 8.** Соотношение  $ZrO_2$  и  $HfO_2$  в цирконах из моренных горизонтов долины р. Вычегоды. По горизонтали – номер анализа; по вертикали – значение отношения  $ZrO_2/HfO_2$ .

0.28,  $ZrO_2$  – 65.80–67.70 и  $HfO_2$  – 0.13–1.86. В цирконах вычегодского горизонта величины отношения  $ZrO_2/HfO_2$  составляют 36–510, что, как отмечалось выше, свидетельствует о поступлении цирконов в морену из кислых, средних и основных пород, а также метаморфических образований фундамента, представленных кристаллическими сланцами и гнейсами.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате изучения типоморфизма и химического состава гранатов выявлены их некоторые площадные и возрастные различия (см. рис. 3, 5). Среди гранатов первой цветовой группы (оранжевой окраски) из морен р. Лаи (север региона) выделено пять разновидностей, тогда как гранаты той же группы из морен долины р. Вычегоды довольно однообразны по минальному составу. В обоих моренных горизонтах долины р. Лаи преобладают розовые и светло-розовые гранаты второй цветовой группы, представленные двумя-тремя разновидностями при явном доминировании пироп-альмандин. В моренах бассейна р. Вычегоды в группе розовых гранатов также преобладает пироп-альмандин, однако в целом в ней присутствует более широкий спектр разновидностей.

В печорском моренном горизонте долины р. Лаи оранжевые гранаты первой цветовой группы представлены в основном (50%) гроссуляр-пироп-альмандином с примесью гроссуляра (до 17%). В вычегодском горизонте среди гранатов первой цветовой группы выделены пять разновидностей, четыре из них не были установлены в печорском горизонте, включая альмандин-спессартин, в котором на спессартин приходится

более половины (58.8%) минального состава. Общим для обоих моренных горизонтов является присутствие гроссуляр-пироп-альмандин, который в вычегодской морене, в отличие от печорской, имеет подчиненное значение. Содержание розовых гранатов второй цветовой группы в печорском горизонте существенно выше, чем в вычегодском, и представлены они преимущественно пироп-альмандином (90%). В вычегодском горизонте почти половина гранатов приходится на гроссуляр-пироп-альмандин (см. рис. 3). Кроме того, здесь выделен не встреченный в печорском горизонте гроссуляр, который включен в эту цветовую группу благодаря бесцветной окраске.

В печорской морене долины р. Вычегоды преобладают розовые гранаты второй цветовой группы, тогда как вычегодский горизонт обогащен оранжевыми гранатами. Оба горизонта морен характеризуются преобладанием гранатов альмандиновой группы, среди которых доминируют либо пироп, либо гроссуляр. Печорская морена содержит гроссуляр-альмандиновую разновидность гранатов с примесью спессартина (18.9%), тогда как в вычегодской морене такая разновидность не установлена. Розовые и светло-розовые гранаты и в печорской, и в вычегодской моренах представлены четырьмя практически одинаковыми разновидностями с несущественными вариациями минального состава (см. рис. 5).

Результаты изучения химического состава цирконов из среднелепесточных морен долин рр. Лаи и Вычегоды, а также анализ величин отношения  $ZrO_2/HfO_2$  в этих цирконах указывают на их поступление, главным образом, из магматических, а также из метаморфических пород фундамента.

Наиболее контрастные значения индикаторного отношения  $ZrO_2/HfO_2$  присущи цирконам из морен севера региона – бассейна р. Лаи (см. рис. 7). На основании результатов исследования предполагается, что в вычегодский горизонт существенная часть цирконов попала из метаморфических пород Северо-Западной (Фенноскандинавской) питающей провинции и Северного Тимана. А в печорский горизонт они поступали, главным образом, из магматических образований кислого, среднего и основного составов за счет их дезинтеграции и переотложения.

Цирконы из морен долины р. Вычегды характеризуются более низкими значениями индикаторного отношения  $ZrO_2/HfO_2$ , что, вероятно, связано с менее активным участием метаморфических пород фундамента в формировании этих морен (см. рис. 8). Присутствие цирконов в моренных связях преимущественно с их поступлением из кислых, средних и основных магматических пород.

С целью установления минералов-индикаторов разновозрастных морен и выявления их наиболее выраженных типоморфных особенностей, а также для исключения нивелирующего влияния гранатов и цирконов, которые не имеют подобных особенностей и поступали из транзитных питающих провинций или из местных подстилающих пород, предполагается провести детальное исследование акцессорных минералов в коренных породах удаленных ледниковых питающих провинций: Пай-Хой-Уральско-Новоземельской и Фенноскандинавской.

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках темы НИР ГР № АААА-А17-117121140081-7 и при частичной поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН № 18-5-5-50.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Андреичева Л.Н.* Основные морены Европейского Северо-Востока России и их литостратиграфическое значение. СПб.: Наука, 1992. 125 с.

*Андреичева Л.Н.* Питающие провинции и их влияние на формирование состава морен Тимано-Печоро-Вычегодского региона // Литология и полез. ископаемые. 1994. № 1. С. 127–131.

*Андреичева Л.Н.* Плейстоцен европейского Северо-Востока. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 323 с.

*Андреичева Л.Н., Андреичев В.Л.* Расчленение основных морен с помощью калий-аргонового изотопного датирования // Геология и полезные ископаемые европейского Северо-Востока СССР / Отв. ред. М.В. Фиш-

ман, В.А. Дедеев // Тр. Института геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 44. Сыктывкар, 1983. С. 29–30.

*Андреичева Л.Н., Андреичев В.Л.* К–Аг изотопное датирование основных тиллов на северо-востоке Европы // VIII Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода “Фундаментальные проблемы квартара. Итоги изучения и основные направления дальнейших исследований” // Сборник статей. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2013. С. 26–28.

*Андреичева Л.Н. Буравская М.Н.* Типоморфные особенности гранатов из среднеплейстоценовых тиллов севера и юга Тимано-Печоро-Вычегодского региона // Вестник ИГ. 2017. № 1. С. 16–21.

*Андреичева Л.Н., Марченко-Ваганова Т.И., Буравская М.Н., Голубева Ю.В.* Природная среда неоплейстоцена и голоцена на Европейском Северо-Востоке России. М.: ГЕОС, 2015. 224 с.

*Андреичева Л.Н., Немцова Г.М., Судакова Н.Г.* Среднеплейстоценовые морены севера и центра Русской равнины. Екатеринбург, 1997. 83 с.

*Кочетков О.С.* Акцессорные минералы в древних толщах Тимана и Канина. Л.: Наука, 1967. 120 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.* Акцессорные минералы, их генезис, состав, классификация и индикаторные признаки. М.: Наука, 1968. 273 с.

*Ляхович В.В., Вишневский А.А.* Цирконий и гафний в цирконе рапакиви в связи с проблемой генезиса овоидов // Геохимия. 1990. № 8. С. 1075–1082.

*Ляхович В.В., Угер П., Симан П.* Гафний в цирконе гранитов рапакиви // Докл. РАН. 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.

*Осовецкий Б.М.* Типоморфизм шлиховых минералов. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2001. 243 с.

*Судакова Н.Г.* Палеогеографические закономерности ледникового литогенеза. М.: Изд-во МГУ, 1990. 160 с.

*Morton A.C.* A new approach to provenance studies: electron microprobe analysis of detrital garnets from Middle Jurassic sandstones on the northern North Sea // Sedimentology. 1958. V. 32. P. 553–566.

*Morton A.C.* Heavy minerals in provenance studies // Provenance Arenites. Proc. NATO Adv. Study. Inst. Cetraro, Cosenta, June 3–11, 1984. Dordrecht, 1985. P. 249–277.



## Typomorphic Features of Garnets and Zircons from the Middle Neoleistocene Moraines in the North and South of the Timan-Pechora-Vycheгда Region

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

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

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

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

In the article we discussed the results of studies of the typomorphism and chemical composition of garnets and zircons from the Pechora (Dnieper) and Vycheгда (Moscow) moraines of the Middle Neopleistocene in the Laya (in the north) and Vycheгда (in the south) Rivers valleys in Timan-Pechora-Vycheгда region, carried out to substantiate a detailed subdivision and the correlation of the Quarternary section. The moraines contain garnets of two color groups: orange and pink. The moraines in the Laya River valley are dominated by pink garnets, and there are more of them in the Pechora moraine than in the Vycheгда moraine. Among the orange garnets from the Pechora moraine, pyrope-almandines with an admixture of grossular predominate, and orange garnets from the Vycheгда moraine are represented by five varieties, including almandine-spessartine. The composition of pink garnets is predominantly pyrope-almandine; grossular is also distinguished for the Vycheгда moraine. In the Vycheгда River valley, the Pechora moraine is enriched with pink garnets, and in the Vycheгда horizon deposits orange garnets predominate. In both moraines garnets of the almandine group dominate, and amounts of pyrope and grossular impurities are varying there. The Pechora moraine, in contrast to the Vycheгда moraine, contains the spessartine-grossular-almandine garnet variety. The composition of pink garnets in both horizons in the Vycheгда River valley is almost identical. The results of zircons studying made it possible to reveal the similarity of their morphology and chemical composition for both moraines. The presence of zircons in moraines is associated with their redeposition from disintegrated igneous rocks of acid, intermediate and basic compositions and metamorphic basement rocks. The values of the indicator ratio  $ZrO_2/HfO_2$  in zircons from the Vycheгда moraine in the northern part of the region (the Laya River) indicate their supply from the metamorphic formations of the Northwestern (Fennoscandian) distributive province and Northern Timan. In the moraines in the Vycheгда River valley zircons are mainly redeposited from acid, intermediate and basic igneous rocks, and only a insignificant part of them came from metamorphic rocks.

*Keywords:* garnet, zircon, moraine correlation, typomorphism, chemical composition, indicator ratios of zirconium and hafnium.