Строение, состав и условия формирования четвертичных отложений в Кельтминском погребенном каньоне (юго-восток Республики Коми)

Л. Н. Андреичева, Т. И. Марченко-Вагапова, В. А. Исаков

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
andreicheva@geo.komisc.ru, timarchenko@mail.ru, isakovvlad94@gmail.com

В результате проведенного литологического изучения четвертичной толщи в разрезе скв. 17843 выделены три пачки отложений различной мощности и состава. В нижней части скважины, в интервале глубин 43.2–27.0 м (**слои 5, 4d и 4c**), отложения были сформированы, вероятно, во флювиогляциальных условиях. Характерны высокие содержания ильменита (7–14 %) и группы титановых минералов (7–12 %), где повышены концентрации лейкоксена и титанита. Содержания хромшпинелидов возрастают вниз по толще от 2.0 до 4.4 %. В интервале глубин 25.9–23.6 м (**сл. 4b**) вскрывается плотная слабосортированная алевролитистая глина без обломочного материала, генезис ее неясен. Глина характеризуется самым высоким в разрезе выходом тяжелой фракции (1.91 %) и содержит аномально высокое содержание магнетита – в среднем 31 %. Верхние 22 м толщи (**слои 4a и 3–1**) представлены аллювием – хорошо сортированным средне- и мелкозернистым песком с амфибол-ильменит-гранат-эпидотовой ассоциацией тяжелых минералов – и повышенными содержаниями метаморфических минералов (7–10 %), хромшпинелидов (4–6 %) и магнетита (4–8 %). Подобный комплекс тяжелых минералов в отложениях, слагающих каньон, свидетельствует об участии уральских магматических и метаморфических комплексов при их формировании, поступление минералов со стороны Камы представляется весьма сомнительным. Данные палинологического анализа, полученные из **слоев 5, 4d и 4b**, отражают закономерную смену растительности в заключительные этапы межледниковья. Елово-сосновые леса с примесью пихты, кедра, древовидной и кустарниковой берез, ольхи и ивы постепенно замещались тундровыми растительными сообществами, где наряду с болотно-тундровыми формациями имели место ксерофитные сообщества из полыней *Artemisia* sp., маревых *Chenopodiaceae*, редкой *Ephedra* sp.

Ключевые слова: гранулометрический состав, минеральный состав, палинология, погребенный каньон, сквозная долина, флювиогляциальные отложения, аллювий.

Structure, composition and conditions of formation of Quaternary sediments in the Keltmin burial canyon (southeast of the Komi Republic)

L. N. Andreicheva, T. I. Marchenko-Vagapova, V. A. Isakov

Institute of Geology, FRC Komi Science Center, UB RAS, Syktyvkar
andreicheva@geo.komisc.ru, timarchenko@mail.ru, isakovvlad94@gmail.com

Our lithological study of the Quaternary strata in the section of the well 17843 resulted in identification of three sediments sequences of various thickness and composition. In the lower part of the well, at depths of 43.2–27 m (**layers 5, 4d and 4c**), the sediments were formed probably in fluvio-glacial conditions. The sediments are characterized by high content of ilmenite – 7–14 %, and group of titanium minerals – 7–12 %, where concentrations of leucoxene and titanite are increased. The content of chromespinellides increases downwards from 2 to 4.4 %. In the depth interval 25.9–23.6 m (**lay 4b**), a dense, poorly-sorted silty clay without clastic material is exposed; its genesis is unclear. Clay is characterized by the highest amount of heavy fraction in the section – 1.91 %, and contains an abnormally high amount of magnetite – on average 31 %. The upper 22 m of the sequence (**layers 4a and 3–1**) are represented by alluvium – well-sorted medium-fine-grained sand with amphibole-ilmenite-garnet-epidote association of heavy minerals and increased amounts of metamorphic minerals – 7–10 %, chromespinellides – 4–6 %, and magnetite – 4–8 %. Such complex of heavy minerals in the sediments, forming the canyon, testifies to the participation of the Ural magmatic and metamorphic complexes in their formation; the supply of minerals from the Kama seems to be very problematic. Palynological analysis data obtained from **layers 5, 4d**, and **4b** reflect a regular vegetation change of the final stages during the interglacial. Spruce-pine forests with fir, cedar, treelike and dwarf birches, alder and willow were gradually replaced by tundra plant communities, where, along with bog-tundra formations, there were xerophytic communities with wormwood *Artemisia* sp., Chenopodiaceae, and rare *Ephedra* sp.

Keywords: granulometric composition, mineral composition, palynology, buried canyon, through valley, fluvio-glacial deposits, alluvium.

Для цитирования: Андреичева Л. Н., Марченко-Вагапова Т. И., Исаков В. А. Строение, состав и условия формирования четвертичных отложений в Кельтминском погребенном каньоне (юго-восток Республики Коми) // Вестник геонаук. 2021. 5(317). С. 27–36. DOI: 10.19110/geov.2021.5.2.

For citation: Andreicheva L. N., Marchenko-Vagapova T. I., Isakov V. A. Structure, composition and conditions of formation of quaternary sediments in the Keltmin burial canyon (southeast of the Komi Republic). Vestnik of Geosciences, 2021, 5(317), pp. 27–36, doi: 10.19110/geov.2021.5.2.

Введение

Впервые глубокая долина-каньон, располагающаяся на Вычегодско-Камском водоразделе и соединяющая бассейны верхней Камы и Вычегды, была вскрыта в долине р. Кельтмы в середине прошлого века Печорско-Вычегодской экспедицией. Бурением было установлено существование на месте долины рек Северной и Южной Кельтм погребенной долины-каньона шириной 5 км и глубиной более 100 м в пермских известняках [14]. При этом С. А. Яковлев полагал, что сквозная долина рек Северной и Южной Кельтм служила для стока речных и флювиогляциальных вод, переливающихся из одного бассейна в другой. Основываясь на изучении состава гальки из флювиогляциального галечника в основании каньона, предыдущие исследователи сделали вывод об образовании этих отложений за счет новоземельских пород при стоке вод в юго-восточном направлении в сторону Камы. Участие Урала и Фенноскандинавии в поставке обломочного материала при формировании флювиогляциальных отложений отрицалось.

В 2017 году под четвертичными отложениями в долине р. Кельтмы скважиной 17843 (глуб. 45.3 м) этот погребенный глубокий каньон был вскрыт повторно (рис. 1). В задачи наших исследований входило установление времени формирования сквозной долины и выявление возможности переливания вод подпрудных озер сквозь эту ложбину из Вычегды в Каму. Кроме того, немаловажным являлось установление направления движения флювиогляциальных потоков через ложбину с целью выявления типов пород, за счет которых в каньоне формировались отложения квартера. С этой целью был изучен минеральный состав четвертичных отложений, слагающих Кельтминский каньон, ранее предшественниками не изучавшийся.

Материалы и методы исследований

Керн для изучения из скв. 17843 в объеме 70 образцов был предоставлен заведующим отделом палеогеографии четвертичного периода Института географии РАН А. В. Паниным, которому авторы выра-

жают признательность. Для генетического и стратиграфического расчленения четвертичной толщи отложения были проанализированы гранулометрическим и палинологическим методами.

Гранулометрический состав отложений изучен для получения их структурной характеристики: размеров слагающих частиц (d_{cp}) и степени сортированности осадков (S_c) — важного показателя предварительной диагностики их генезиса. Гранулометрический анализ выполнялся по методике Н. А. Качинского [8] с применением ситового и пипеточного методов. Фракционное разделение материала песчано-гравийной размерности проводилось методом мокрого ситования. Глинисто-алевритовая фракция размером менее 0.1 мм исследовалась пипеточным методом. Карбонатность определялась в процессе предварительной обработки образцов пород раствором 10 %-ной соляной кислоты. Использовался способ выражения сортированности отложений через нормированную энтропию, которая зависит только от веса фракций и не зависит от размера зерен [4, 5]. Коэффициент сортировки при этом изменяется от нуля до единицы и растет в направлении увеличения сортированности: при наихудшей сортировке мелкозема $S_c = 0$, для однофракционных отложений $S_c = 1$. Результаты гранулометрического анализа интерпретировались с помощью гистограмм, кумулятивных кривых, различных диаграмм: треугольных, парных, генетических.

Изучение минералогического состава тяжелой фракции проводилось с целью выявления области денудации и сноса материала при осадконакоплении. Для выполнения минералогических анализов из двухсотграммовой навески отмывалась фракция менее 0.01 мм по методике М. Ф. Викуловой [6]. Оставшаяся часть осадка делилась на гранулометрические фракции. Проблема выбора представительной размерности тяжелой фракции для исследования минерального состава уже полвека обсуждается в литературе. По нашему мнению, минеральный состав тяжелой фракции четвертичных отложений на Европейском Северо-Востоке России целесообразно изучать в мелкопесчаной фракции — 0.25–0.1 мм — представительной по весу и наиболее доступной для изучения, а также достаточно полно отражающей состав питающих провинций [1, 2]. Тяжелые минералы мелкопесчаной фракции выделялись в процессе обработки тяжелой жидкостью «Бромформ» с плотностью 2.75–2.82 г/см³, далее проводились их магнитная сепарация, взвешивание, изучение под биноклем, в иммерсионных препаратах, при необходимости — фотометодом и на сканирующем микроскопе.

Рис. 1. Местоположение скважины 17843

Fig. 1. Location of the well 17843

Лабораторная обработка проб для спорово-пыльцевого анализа (СПА) осуществлялась по общепринятым методикам: сепарационной В. П. Гричука, щелочной Леннарта фон Поста и ацетолизной Г. Эрдтмана [7, 11, 15]. Из разных литотипов пород для мацерации образцов отбирались различные навески: из песков — 200 г, из суглинков — 100 г, из торфов — от 5 до 20 г. Палиноморфы изучались под микроскопом Motic BA 300 при увеличениях 400^x и 600^x, в каждом образце определялось не менее 300 зерен пыльцы и спор. Спорово-пыльцевые диаграммы строились с помощью программы TILIA. Интерпретация и расчет результатов СПА проводились групповым способом. Споры и пыльца в спектрах объединялись в группы (пыльца деревьев и кустарников, пыльца трав, споры), далее определялось процентное содержание видов спор и пыльцевых зерен от 100 % отмеченных форм. Результаты представлялись в виде палинологических диаграмм.

Результаты исследований и их обсуждение

В интервале глубин 0.65—43.2 м скв. 17843 четвертичные отложения проанализированы гранулометрическим, минералогическим и палинологическим методами. По результатам литологического изучения в разрезе выделены три пачки отложений различной мощности и состава, представленные флювиогляциальными, аллювиальными и осадками неясного генезиса. Описание разреза и характеристика отложений приводятся в стратиграфической последовательности.

В основании разреза на глубине 43.2—40.4 м выделен **слой 5**, в котором вскрываются тонко- и мелкозернистые буровато-серые пески, вверх по слою переходящие в алевроиты (рис. 2). При некотором ухудшении степени сортированности и существенном повышении вверх по слою суммарной карбонатности отложений от 5.3 до 17.3 % в том же направлении от 0.153 до 0.024 мм уменьшается $d_{ср}$ (табл. 1). Мелкозернистая фракция песков (0.25—0.1 мм) характеризуется ильменитом (12 %) - амфиболом (13.1 %) - гранатом (17.3 %) - эпидотовой (21.8 %) ассоциацией тяжелых минералов с повышенным содержанием метаморфических минералов (кианит, ставролит, силлиманит) — 10.3 % — и хромшпинелидов — 4.4 % (табл. 2, рис. 3).

В слое 5 выделены два спорово-пыльцевых комплекса, отражающих этапы изменения природных условий (рис. 4). В общем составе **спорово-пыльцевого комплекса I** (глубина 42.8—41.8 м) преобладает пыльца древесных растений (почти 58 %). Доля трав достаточно велика (29 %), участие спор колеблется в пределах 16—25 %. Среди древесных форм преобладают хвойные растения: *Pinus sylvestris* составляет до 28 %, *Picea* sp. (в среднем 15—17 %), *Pinus sibirica*, *Abies* sp. единичны. Пыльца видов рода *Betula* sp. встречается в значительно меньшем количестве. Отмечены *Betula* sect. *Fruticosae* (в среднем 4 %), *Betula* sect. *Albae* — до 2 %, *Betula nana* — 1.5 %. В небольших количествах присутствует пыльца *Alnus* sp., *Salix* sp.

Состав травянистых растений довольно разнообразен. Отмечены пыльца *Artemisia* sp., *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Ericaceae*/*Vacciniaceae*. Из разнотравья встречаются *Ranunculaceae*, *Brassicaceae*, *Rosaceae*, *Polygonaceae*, *Asteraceae*, *Caryophyllaceae*. Среди

споровых растений преобладают *Sphagnum* sp. (более 12 %) и папоротники сем. *Polypodiaceae* (почти 11 %). В небольших количествах присутствуют *Lycopodium clavatum*, *L. complanatum*, *Selaginella selaginoides*.

Этот спорово-пыльцевой спектр характеризует развитие елово-сосновых лесов со значительной примесью березы (в основном кустарниковой), ольхи и ивы. Климат был достаточно благоприятным.

Спорово-пыльцевой комплекс II выделен в интервале глубин 41.65—40.80 м. Количество пыльцы древесных растений в общем составе возрастает до 65 %, содержание трав колеблется от 15 до 36 %, спор — от 14.8 до 28.7 %. Состав и структура группы древесных сохраняется. Среди хвойных пород преобладает то *Pinus sylvestris* (40 %), то *Picea* sp. (28.4 %). Чаще встречаются *Pinus sibirica*, *Abies* sp. Участие *Betula* sp. немного возросло: *Betula* sect. *Fruticosae* — от 0.5 до 9.7 %, *Betula* sect. *Albae* — от 1.5 до 7.3 %, доля *Betula nana* уменьшилась (0.2—2.6 %).

Группа травянистых растений становится более разнообразной. Отмечены представители *Artemisia* sp., *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Ericaceae*/*Vacciniaceae*, *Ranunculaceae*, *Brassicaceae*, *Rosaceae*, *Polygonaceae*, *Asteraceae*, *Caryophyllaceae*, *Onagraceae*, *Apiaceae*, *Valerianaceae*, *Liliaceae*, *Geraniaceae* и других. В составе споровых растений по-прежнему преобладают *Sphagnum* sp. (до 16.5 %) и папоротники сем. *Polypodiaceae* (более 10 %). В небольших количествах присутствуют *Lycopodium clavatum*, *L. complanatum*, *L. annotinum*, *L. Aprissum*; *Osmunda* sp. *Selaginella selaginoides* единичен.

Палинологический спектр указывает на дальнейшее распространение лесных территорий, где лесобразующими породами служили ель и сосна. В качестве примеси присутствовали пихта, кедр, древовидная и кустарниковая березы, ольха и ива. На открытых участках развивалась луговая и болотная растительность. Климатические условия стали еще более благоприятными.

В интервале глубин 39.4—22.0 м выделена **пачка 4**, сложенная переслаивающимися темно-серыми и серыми с коричневым оттенком глинами и серо-коричневыми, иногда красновато-бурыми алевроитами без включений обломочного материала. В результате проведенных исследований эта пачка подразделена на четыре слоя.

Слой 4d мощностью 11.2 м (глубина 39.4—28.2 м) представлен преимущественно алевроитами глинистыми, местами опесчаненными, с маломощными прослоями глин. Степень сортированности отложений средняя до низкой ($S_c = 0.37—0.16$), суммарная карбонатность повышена, в отдельных образцах достигает 14—16 %. Тяжелая фракция сложена амфиболом (12.7 %) - гранатом (17.8 %) - эпидотовой (22.5 %) минеральной ассоциацией с высокими содержаниями в нижней части слоя группы титановых минералов (рутил, титанит, лейкоксен) — до 18.1 %, магнетита — до 8.5 % и пирита с сидеритом, в сумме составляющих 17.3 %. В верхней части слоя до 4.4 % повышено количество хромшпинелидов.

В составе **спорово-пыльцевого комплекса III** (глубина 39.85—39.45 м) численность пыльцы и спор в целом сокращается (рис. 4). По-прежнему преобладает пыльца древесных растений, но количество ее несколь-

*Цвета отложений в литологической колонке отражают их естественную окраску

Условные обозначения:

Рис. 2. Строение и гранулометрический состав отложений в скв. 17843:

1 – песок с гравием и галькой; 2 – песок с гравием; 3 – песок; 4 – алеврит; 5 – супесь; 6 – суглинок; 7 – глина; 8 – дресва; 9 – гравий (> 1 мм); 10 – песок (1.0–0.1 мм); 11 – алеврит (0.10–0.01 мм); 12 – глина (< 0.01 мм)

Fig. 2. Structure and granulometric composition of sediments in the well 17843:

1 – sand with gravel and pebbles; 2 – sand with gravel; 3 – sand; 4 – silt; 5 – sandy loam; 6 – loam; 7 – clay; 8 – gruss; 9 – gravel (> 1 mm); 10 – sand (1.0–0.1 mm); 11 – silt (0.10–0.01 mm); 12 – clay (< 0.01 mm)

Таблица 1. Гранулометрический состав отложений в скв. 17843

Table 1. Granulometric composition of sediments in the well 17843

№ слоя Layer No	№ обр., глубина, м Sample No., depth, m	Карбонат- ность, % Carbonate content, %	Содержание фракций, %, размер, мм Content of fractions, %, size, mm				Средний диаметр Average diameter, dcp	Коэффициент сортировки Sorting coefficient, Sc
			2—1	1.0—0.1	0.10—0.01	<0.01		
1	0.65	0.4	0.6	96.3	1	2.1	0.220	0.60
	1.0—1.1	0.3	2.2	94.5	1.6	1.6	0.265	0.53
	1.7	0.6	0.5	93.8	3.3	2.4	0.189	0.58
	3	0.6	0.3	91.2	5.5	3.1	0.170	0.56
	4	0.3	0.3	91.1	5.2	3.5	0.185	0.53
	5	0.3	1.8	91.6	4.2	2.4	0.203	0.52
2	7.2	0.7	33.1	62.7	1.8	2.5	0.367	0.40
	7.8	0.6	57.2	40.7	0.5	1.5	0.689	0.51
	8.3	1.7	1.6	25.3	59.2	13.9	0.049	0.39
	8.6	0.5	5.3	80.4	11.2	3.1	0.224	0.39
	9.1	0.4	11.4	76.2	9.3	3.1	0.262	0.33
	9.8	0.7	16.2	70.6	10.5	2.8	0.264	0.30
	10.5	0.3	48.5	42.8	6.8	1.8	0.500	0.38
	11	0.2	32.3	60.6	5.7	1.4	0.415	0.35
3	11.5	0.3	14.2	77.8	5.5	2.5	0.271	0.36
	11.9	0.7	7.5	56.4	34.1	2	0.132	0.45
	12.5	1.2	3.4	86.8	7.1	2.6	0.180	0.46
	13	0.9	3	87.2	6.8	3	0.174	0.47
	13.5	1.8	4.8	85.6	6.9	2.7	0.187	0.44
	14.5	0.8	2.1	91.6	4.4	1.8	0.239	0.51
	15.5	0.5	2.5	90	5.7	1.8	0.232	0.51
	17	0.5	2.3	92.3	4	1.4	0.260	0.54
	18	0.8	1.1	93.9	3.6	1.4	0.252	0.56
	18.5	0.9	2.2	91.9	4.3	1.6	0.260	0.55
	19	0.4	2.1	91.7	5.4	0.9	0.261	0.52
	19.5	1.5	1.4	93	4.7	0.9	0.247	0.52
	20	4.8	2.3	95.9	0.8	1.1	0.270	0.55
	20.5	0.7	1.3	88	9.8	0.9	0.253	0.51
4a	21.5	2.3	1.1	94.6	3.3	1.1	0.270	0.59
	22	1.3	1	86	11.2	1.9	0.189	0.49
4b	23	0.1	0.3	85.9	11.4	2.5	0.188	0.48
	23.6	7.6	0	12.7	23.2	64.1	0.007	0.16
	24.1	7.4	0	0.1	94	5.9	0.019	0.53
	24.3	8	0	0.2	39.1	60.7	0.007	0.23
	24.7	8	0	0.2	22.1	77.6	0.004	0.27
	25	7.2	0	0.2	43.6	56.3	0.008	0.20
	25.2	6.9	0	2.2	25.3	72.4	0.005	0.27
	25.5	9.2	0	0.3	43.1	56.6	0.007	0.35
4c	25.9	7.8	0	0.4	57	42.5	0.009	0.30
	27.0	9.7	0	0.5	55.2	44.3	0.008	0.30
4d	27.5	2.4	0	90	6.8	3.2	0.160	0.53
	28.2	11.4	0	14.4	48.6	37.1	0.016	0.27
	28.8	9.9	0	1.8	68.2	30	0.014	0.28
	29.3	13.7	0.1	0.3	55.2	44.4	0.011	0.21
	29.7	14.5	0	1.2	64.2	34.6	0.013	0.28
	30.4	12.5	0	1.4	74.7	23.9	0.016	0.29
	30.8	14.1	0	1.2	45.6	53.3	0.008	0.24
	31.2	12.6	0	0.7	64.2	35.1	0.012	0.23
	31.5	14.7	0	1.1	73.1	25.8	0.015	0.30
	31.7	13.2	0	0.7	61.4	37.9	0.014	0.20
	31.8	10.2	0	1.7	57.3	41	0.009	0.28
	32.2	16.2	0	0.3	71.4	28.3	0.021	0.32
	32.5	11.3	0	15.2	50.9	33.9	0.015	0.17
	33	10.7	0	2.1	74.7	23.2	0.019	0.23
	33.8	9	0	4.8	26.2	69	0.005	0.28
	34.3	8.8	0	9.9	67.2	22.9	0.023	0.16
	34.8	10.1	0	7.3	69.3	23.5	0.021	0.18
	35.6	12.5	0	7.4	65.4	27.3	0.019	0.17
	36.5	7.5	0	51.4	33.9	14.7	0.052	0.32
	37.2	6.1	0	62.2	24.1	13.7	0.063	0.37
	37.7	8.5	0	30.1	51.7	18.1	0.031	0.19
	38.1	10.2	0	15.3	60.5	24.2	0.021	0.16
	39.4	15.2	0	14.4	60.9	24.7	0.019	0.18
5	40.4	17.3	0.3	13.6	71.8	14.3	0.024	0.38
	41.3	10.5	0	69.2	21.5	9.3	0.081	0.38
	42.6	6.5	0.1	65.9	22.7	11.3	0.073	0.35
	42.8	8.3	1.6	72.2	17.5	8.7	0.111	0.31
	43.2	5.3	0.6	84.5	8.6	6.4	0.153	0.43

Таблица 2. Минеральный состав тяжелой фракции отложений в скв. 17843
Table 2. The mineral composition of the heavy fraction of sediments in the well 17843

№ обр., глубина / Sample No., depth	4	7.8	9.8	11.5	13.5	17	20.5	23	23.6	24.1	25.1	25.5	27	27.5	28.5	35.2	40.4	43.2
№ слоя / Layer No.	1	2			3			4a	4b				4c		4d		5	
ВТФ, % / Yield of heavy fractions, %	0.41	1.39	1.24	0.8	0.46	0.88	0.8	0.58	1,76	1,31	3,05	1,5	0.25	0.67	1.12	0.66	1.77	0.45
Магнетит / Magnetite	4.4	7.1	3.9	5.7	11.8	6.9	5.5	6.4	22.4	41,7	24,6	34,4	7	8.7	2.1	8.5	0.1	0.1
Ильменит / Ilmenite	11.7	16.3	16.1	13.2	13.2	13.6	11.2	12.2	2.4	1,1	24,1	2,3	12.5	15	5.6	8.1	13.9	10.1
Эпидот / Epidote	26.7	22.7	26.9	30.6	23.5	24.7	25.1	22.1	18.8	20,1	14,2	10,1	19.1	18.1	28.1	16.8	18.7	25.1
Амфибол / Amphibole	9.4	12.3	11.3	8.6	10.5	10.8	18	13.5	10.6	10,4	7,7	6,3	13.2	14.7	16.1	9.2	12.2	13.9
Гранат / Garnet	25.2	23.4	18.7	20.1	18.2	18.2	18.5	20.8	14.9	10,6	8,5	6,7	18.7	18.8	29.1	6.4	18.2	16.4
Пирит / Pyrite								ед. зн.							0.2	7.6	6.4	2.8
Сидерит / Siderite							0.4	4.2	0.2		9,7	0,1	7.3	5.2	0.1	9.7	4.2	1.8
Циркон / Zircon	0.9	1.1	1.9	1.1	2.4	2	0.7	1.6	5.5	ед. зн.	0,1	6,4	1.2	1.6	1.2	3.4	4.7	1.1
Рутил / Rutile	0.4	0.5	1	0.8	0.7	1.2	0.4	0.9	1.7	ед. зн.	0,1	2,7	0.7	0.8	0.9	2	1.7	1
Титанит / Titanite	2.4	0.5	1.7	1.5	2.3	2.2	2.2	2.1	4.8	3,3	0,2	7,3	4.2	2.6	2.1	4.9	2.5	2.5
Лейкоксен / Leucoxene	3.4	1	2.9	1.5	1.3	3.9	3.1	2.4	5.8	8,7	0,3	6,8	5.3	2.6	1.9	11.2	2.2	3.4
Группа титановых минералов Group of titanium minerals	6.2	2	5.6	3.8	4.3	7.2	5.7	5.3	12.3	12	0,5	16,9	10.2	6	4.8	18.1	6.5	6.8
Кианит / Kyanite	2.2	1	4.1	1.4	1.3	2.9	4.2	2.8	5.1	3,8	0,3	5,9	3.7	2.7	1.9	5.9	2.7	3.6
Ставролит / Staurolite	7.1	3.8	4.5	5.8	5.4	5.3	4.8	6.7	2.2	0,3	4,2	4,6	1.7	3.7	2.7	1	2.7	11.2
Силлиманит / Sillimanite	0.4	0.1	0.5	0.2	0.2	0.4	ед. зн.	0.3			ед. зн.	0,5	0.2	0.3	0.2		0.3	ед. зн.
Группа метаморфических минералов Group of metamorphic minerals	9.6	4.9	9.1	7.5	6.9	8.6	8.9	9.8	7.3	4,1	4,4	11	5.6	6.7	4.7	6.8	5.7	14.8
Турмалин / Tourmaline	3.1	1.3	1.6	0.8	0.7	1.3	1.6	0.4	1.6	ед. зн.	0,1	0,8	1.1	0.6	2.1	0.6	1.2	1.1
Апатит / Apatite			1.5	0.2	1.1	1.2	2	1.2	2.7		0,2	4,1	2.1	1.1	1.3	3.9	2.2	1
Пироксен / Pyroxene	1.0	1.5	0.5	0.2	2.1	0.4	0.7	0.3	ед. зн.	ед. зн.	0,7	0,7	0.2	0.3		0.5	0.6	1.7
Хромшпинелид / Chrome spinel	1.8	7.5	2.8	8.3	5.4	5.2	1.8	2.2	1.3	0,1	5	0,3	1.1	2.2	4.4	0.4	5.5	3.2

Рис. 3. Средний минеральный состав тяжелой фракции отложений в скв. 17843:

1 — магнетит; 2 — ильменит; 3 — эпидот; 4 — амфибол; 5 — гранат; 6 — группа титановых минералов; 7 — группа метаморфических минералов; 8 — хромшпинелид

Fig. 3. The average mineral composition of the heavy fraction sediments in the well 17843:

1 — magnetite; 2 — ilmenite; 3 — epidote; 4 — amphibole; 5 — garnet; 6 — group of titanium minerals; 7 — group of metamorphic minerals; 8 — chrome spinel

Рис. 4. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений в скв. 17843

Fig. 4. Spore-pollen diagram of sediments in in the well 17843

ко уменьшается. Доля трав по-прежнему достаточно велика (23—31%), участие спор возрастает до 31 %. Общая структура комплекса сходна с комплексом II. Преобладают хвойные растения, но их участие немного сокращается: *Picea* sp. снижается с 28 до 13.5 %, *Pinus sylvestris* составляет до 19 %, *Pinus sibirica*, *Abies* sp. вверх по разрезу исчезают. Участие пыльцы сем. Betulaceae также снижается: *Betula* sect. *Albae* содержится в количестве немногим более 3 %, *Betula* sect. *Fruticosae* — 4.4 %, *Betula nana* и *Alnus* sp. — до 1.7 %.

Состав травянистых растений становится беднее. Среди споровых по-прежнему преобладают *Sphagnum* sp. и папоротники сем. Polypodiaceae. В небольших количествах присутствуют *Lycopodium clavatum*, *L. complanatum*, *L. annotinum*, *Botrychium* sp., *Selaginella selaginoides*.

Палинологический спектр указывает на сокращение лесных елово-сосновых группировок с незначительной примесью пихты, кедра, древовидной и кустарниковой берез, ольхи и ивы. На открытых участках развивалась луговая и болотная растительность. Климатические условия еще оставались благоприятными.

Спорово-пыльцевой комплекс IV выделен в интервале глубин 39.25—37.45 м. В общем составе спектра по-прежнему в целом преобладает пыльца древесных растений (34—66 %), в некоторых образцах преобладает пыльца травянистых растений, которая составляет 13—37 %. Споровых растений отмечено от 16 до 40 %.

Количественные соотношения пыльцы сохраняются. Преобладают хвойные растения: *Picea* sp., *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*, *Abies* sp. Пыльца сем. Betulaceae занимает подчиненное положение. Разнообразие групп травянистых уменьшается. Среди споровых растений по-прежнему преобладают *Sphagnum* sp. (колеблется от 11 до 25 %) и папоротники сем. Polypodiaceae (более 12 %). Единично отмечены плауны, а также *Botrychium* sp., *Selaginella selaginoides*.

Палинологический спектр этой зоны свидетельствует о том, что на территории лесные группировки сохраняли свое доминирующее положение. В почвенном покрове развивались болотно-травянистые сообщества.

В спектрах **спорово-пыльцевого комплекса V** (глубина 37.20—34.15 м) общее количество спор и пыльцы значительно сокращается. Среди отмеченных древесных пород преобладают хвойные растения, но в целом их участие продолжает уменьшаться: *Pinus sylvestris* содержится в количестве от 8 до 23 %, *Picea* sp. в среднем составляет 12—20 %, *Pinus sibirica* и *Abies* sp. исчезают. Пыльца сем. Betulaceae по-прежнему занимает подчиненное положение: *Betula* sect. *Albae* — до 2.6 %, *Betula* sect. *Fruticosae* — 1—7 %, *Betula nana* — 0.6—6%. *Alnus* sp., *Salix* sp. единичны.

Состав травянистых растений сохраняется. Отмечены *Artemisia* sp., Chenopodiaceae, Cyperaceae, Poaceae, Ericaceae/Vacciniaceae. Разнотравье представлено Ranunculaceae, Caryophyllaceae, Rosaceae, Polygonaceae, Asteraceae, Apiaceae и др. Среди споровых растений по-прежнему преобладают *Sphagnum* sp. (до 27%) и папоротники сем. Polypodiaceae (более 17 %). Единично встречены *Lycopodium clavatum*, *L. complanatum*, *L. annotinum*, *Selaginella selaginoides*.

Палинологический спектр этой зоны свидетельствует о том, что на территории лесные группировки потеряли свое доминирующее положение. В почвенном покрове развивались болотно-травянистые сообщества. Климатическая обстановка ухудшилась.

Слой 4с (глубина 27.5—27 м) в нижней части сложен песком средне- и мелкозернистым, выше — алевритом глинистым, темно-серым с коричневатым оттенком, очень плотным, менее карбонатным, чем ниже по разрезу (табл. 1). Степень карбонатности составляет 2.4—9.7 %. Для песчано-алевритовых отложений характерна ильменит(13.8 %)-амфибол(13.9 %)-эпидот(18.6 %)-гранатовая(18.8 %) ассоциация тяжелых минералов с повышенным содержанием титановых минералов — 8.1% и высокой концентрацией магнетита — 7.9 % (табл. 2, рис. 3).

Слой 4б в интервале глубин 25.9—23.6 м представлен плотной темно-серой с коричневым оттенком слабосортированной алевритистой глиной ($S_c = 0.29$) без обломочного материала, со средним диаметром частиц (d_{cp}), равным 0.008 мм. Эта глина определяется самым высоким в разрезе скважины ВТФ (в среднем 1.91 %) и аномально высоким содержанием магнетита — 30.8 %, в отдельных пробах достигающим 41.7 %. На эпидот приходится 15.8 %, титановые минералы составляют 10.4 %. Отложения из верхней части слоя обогащены гранатами, составляющими в среднем 12.8 %, и амфиболами — 10.5 %, тогда как в нижней части слоя этих минералов содержится почти вдвое меньше. В средней части слоя до 5 % повышено количество хромшпинелидов.

На глубине 34—24 м отложения исследованы палинологически, в них отмечены пыльца и споры в небольших количествах до единичного. Среди встреченных форм основную массу составляют травянистые растения, несколько меньше споровых и древесных. Среди зафиксированной пыльцы древесных растений доля хвойных значительно снижается: встречена *Pinus sylvestris*, *Picea* sp. исчезает вверх по разрезу. В составе пыльцы сем. Betulaceae чаще отмечена пыльца *Betula nana*, встречена *Betula* sect. *Fruticosae*, *Alnus* sp. — единичен, *Betula* sect. *Albae* не отмечена.

В составе травянистых растений преобладающими становятся *Artemisia* sp. и Chenopodiaceae. Единична встречаемость пыльцы *Ephedra* sp., Poaceae, Ericaceae/Vacciniaceae. Участие разнотравья снижается. Среди споровых растений по-прежнему преобладают *Sphagnum* sp. (до 33 %) и папоротники сем. Polypodiaceae (до 14—16 %). *Lycopodium clavatum*, *Lycopodium* sp. отмечаются единично.

По небольшому количеству зерен спор и пыльцы трудно судить о формировании растительности, однако можно предположить, что развивались тундровые растительные сообщества. Наряду с болотно-тундровыми формациями имели место ксерофитные сообщества из полыней *Artemisia* sp., маревых Chenopodiaceae, *Ephedra* sp. Все это свидетельствует о холодных климатических условиях.

Слой 4а (глубина 23—22 м) представлен темно-серым, довольно хорошо сортированным мелкозернистым песком ($S_c = 0.48—0.49$) с редким гравием и очень низкой суммарной карбонатностью — 0.1—1.3 %. Тяжелая фракция сложена ильменит(12.2 %)-амфибол(13.5 %)-гранат(20.8 %)-эпидотовой(22.1 %) ассо-

циацией минералов с повышенным содержанием магнетита (6.4 %) и метаморфических минералов (9.8 %).

В слое 3 (интервал глубин 21.5—11.9 м) вскрывается серый мелкозернистый, хорошо сортированный песок с содержанием гравия, составляющим первые проценты и возрастающим вверх по слою до 7.5 %. В этом же направлении отмечается некоторое снижение степени сортированности отложений от 0.59 в нижней части слоя до 0.45 в верхней. Тяжелую фракцию составляет ильменит (12.6 %)-амфибол (13.1 %)-гранат (18.3 %)-эпидотовая (24.4 %) минеральная ассоциация с повышенными концентрациями метаморфических минералов (8.1 %) и хромшпинелидов (4.1 %). Минеральный состав весьма сходен с таковым в сл. 5. Отличие состоит лишь в содержаниях магнетита: в сл. 5 он составляет 0.1 %, тогда как в рассматриваемом сл. 3 его значение повышено в среднем до 8.1 %.

Слой 2 (глубина 11.5—7.2 м) представлен песком желтовато- и серо-коричневым, разномзернистым, преимущественно средне- и крупномзернистым. На глубине 9.8—8.3 м выходят среднесортированные средне- и мелкозернистые пески до алевритов с S_c , равным 0.30—0.39. В нижней части слоя (11.5—10.5 м) и в кровле (7.8—7.2 м) это гравийно-песчаные отложения с редкой мелкой галькой (табл. 1, рис. 2). Отложения характеризуются высоким выходом тяжелой фракции — 1.14 %, составляющей амфибол (10.7 %)-ильменит (15.2 %)-гранат (20.8 %)-эпидотовую (26.4 %) ассоциацию с повышенными содержаниями магнетита (5.6 %), хромшпинелидов (6.2 %) и метаморфических минералов (7.2 %).

Слой 1 начинается с глубины 5 м (до поверхности) и сложен хорошо сортированными средне- и мелкозернистыми песками с единичным гравием. Цвет песков серый, в верхнем метре слоя коричневый. Тяжелые минералы составляют амфибол (9.4 %)-ильменит (11.7 %)-гранат (25.2 %)-эпидотовую (26.7 %) ассоциацию, в которой 9.6 % составляют метаморфические минералы, а содержание магнетита повышено до 4.4 % (табл. 2, рис. 3).

В целом в нижней части скважины (**слои 5, 4d и 4c** в интервале глубин 43.2—27.0 м) наблюдается переслаивание песков глинисто-алевритовых (**слои 5 и 4c**) и алевритов глинистых (**сл. 4d**). Для этой толщи характерны высокие содержания титановых минералов (рутил, титанит, лейкоксен) — 6.7—11.5 % — за счет повышенных концентраций лейкоксена и титанита. Количество ильменита изменяется от 13.8 до 6.8 %. Содержания хромшпинелидов вниз по толще возрастают от 1.7 до 4.4 %. Эта толща была сформирована предположительно во флювиогляциальных условиях, на что, во-первых, может указывать более высокая суммарная карбонатность этих отложений по сравнению с аллювием [13]. Низкая карбонатность аллювия определяется резко подчиненным значением обломков карбонатных пород по отношению к другим, более устойчивым породам из-за их быстрого механического разрушения в условиях речного стока. Во-вторых, флювиогляциальные осадки характеризуются многообразием литотипов отложений от алевритов до галечников, что обусловлено изменчивостью гидродинамических условий при их формировании и, соответственно, принадлежностью их к различным генетическим подгруппам.

Флювиогляциальные отложения перекарываются плотной глиной неясного генезиса, без обломочного

материала, вскрытой в интервале глубин 25.9—23.6 м (**сл. 4b**). В глине до 1.91 % повышено содержание тяжелых минералов, которые слагают гранат (10.2 %)-эпидот (15.8 %)-магнетитовую (30.8 %) ассоциацию. Количество магнетита в отдельных образцах достигает аномально высоких значений — 41.7 %, суммарное содержание минералов группы титановых тоже повышено до 10.4 %.

Верхние 22 м отложений в разрезе скв. 17843 (**слои 4a и 3-1**) представлены аллювием — хорошо сортированным средне- и мелкозернистым песком. Тяжелые минералы аллювиальных песков формируют амфибол-ильменит-гранат-эпидотовую ассоциацию. Содержания амфиболов в аллювиальной пачке убывают снизу вверх от 13.6 до 9.4 %, тогда как значения эпидота, напротив, возрастают от 22.1 до 26.6 %. Характерными особенностями аллювия в этой скважине являются повышенные содержания магнетита — 4.4—8.1 %, в отдельных образцах достигающие 11.8 %, и хромшпинелидов, составляющих в среднем 4.1 % в сл. 3 и 6.2 % в сл. 2. Пески обогащены метаморфическими минералами (кианит, ставролит, силлиманит), составляющими 7.2—9.8 % за счет повышенных содержаний ставролита (иногда до 7.1 %) и кианита (до 4.2 %).

Выводы

Минеральный состав четвертичных отложений, слагающих Кельтминский погребенный каньон, вскрытый скв. 17843, изучен впервые. В результате выявлен не вполне типичный для отложений квартала набор и количественные содержания тяжелых минералов (табл. 2, рис. 3).

Тяжелая фракция флювиогляциальных отложений характеризуется высокими концентрациями магнетита (до 42 %), хромшпинелидов (до 8 %) и ильменита (до 24 %), тогда как обычно в четвертичных осадках магнетит составляет первые проценты, либо еще меньше; хромшпинелиды фиксируются в единичных знаках, реже в долях процента; максимальные содержания ильменита редко достигают 10—11 %.

Наличие повышенных концентраций магнетита, хромшпинелидов и ильменита в тяжелой фракции бесспорно свидетельствуют об участии уральских магматических и метаморфических комплексов в качестве источников сноса материала при образовании этих осадков. Высокие содержания магнетита, вероятно, связаны как с магматическими породами и основными эффузивами, так и с метаморфическими серпентинизированными ультрабазами. Хромшпинелиды могли поступать из пород офиолитовой ассоциации Полярного и Приполярного Урала [10, 9, 12]. Ильменит характерен для основных и щелочных магматических пород. Как акцессорный минерал, он образуется на последней стадии кристаллизации магматических пород разнотипного состава. Кроме того, эпидот, содержание которого повышено до 31 %, также является, наряду с ильменитом, характерным минералом Северо-Восточной терригенно-минералогической провинции, включающей Новую Землю, Пай-Хой и Полярный и Приполярный Урал [3].

Существование сквозной долины рек Южной и Северной Кельтм, через которую речные и флювиогляциальные воды переливались из одного бассейна в дру-

гой, и поступление подобного комплекса тяжелых минералов со стороны Камы представляется весьма сомнительным, поскольку в бассейне Камы развит плиоцен, а долины рек Северной и Южной Кельтм сложены пермскими известковыми отложениями. Вопрос о времени формирования сквозной долины пока остается открытым.

Палинологические исследования нижней части отложений отражают закономерную смену растительности в заключительные этапы межледникового. Еловососновые леса с примесью пихты, кедра, древовидной и кустарниковой берез, ольхи и ивы постепенно замещались тундровыми растительными сообществами, где наряду с болотно-тундровыми формациями имели место ксерофитные сообщества из полыней *Artemisia* sp., маревых *Chenopodiaceae*, редкой *Ephedra* sp.

Работа выполнена в рамках темы НИР ГР № АААА-А17-117121140081-7.

Литература

1. Андреева Л. Н. Основные морены Европейского Северо-Востока России и их литостратиграфическое значение. СПб.: Наука, 1992. 125 с.
2. Андреева Л. Н. Плейстоцен Европейского Северо-Востока. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 323 с.
3. Батурин В. П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 338 с.
4. Белкин В. И., Рязанов И. В. О понятиях сортированности и однородности гранулометрического состава осадочных пород // Литология и полезные ископаемые. 1974. № 2. С. 133—139.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
6. Викулова М. Ф. Общая характеристика глин // Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин. М., 1957. С. 7—90.
7. Гричук В. П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: ОГИЗ ГЕОГРАФИЗ, 1948. 224 с.
8. Качинский Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 191 с.
9. Makeev A. B., Bryanchaninova N. I. Минералогия, хромитонность и платиноносность Полярного Урала // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2000. № 6. С. 20—24.
10. Makeev A. B., Perevozchikov B. V., Afanasyev A. K. Хромитонность Полярного Урала. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1985. 152 с.
11. Пыльцевой анализ. М.: Гос. изд-во геол. лит-ры, 1950. 571 с.
12. Савельева Г. Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: Наука, 1987. 246 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 404).
13. Юргайтис А. А. Литогенез флювиогляциальных отложений области последнего материкового оледенения. М.: Недра, 1984. 183 с.
14. Яковлев С. А. Основы геологии четвертичных отложений Русской равнины (Стратиграфия). М.: Госгеолтехиздат, 1956. 351 с.
15. Erdtman G. Erdtman's Handbook of Palynology. 2nd ed. / Ed. S. Nilsson, J. Pragłowski. Copenhagen, 1992. 580 pp.

References

1. Andreicheva L. N. *Osnovnye moreny Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii i ih litostratigraficheskoe znachenie* (The basal moraines of the European Northeast of Russia and their lithostratigraphic significance). St. Petersburg: Nauka, 1992, 125 p.
2. Andreicheva L. N. *Pleistotsen Evropeiskogo Severo-Vostoka* (Pleistocene of the European Northeast). Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002, 323 p.
3. Baturin V. P. *Petrograficheskii analiz geologicheskogo proshlogo po terrigenym komponentam* (Petrographic analysis of the geological past by terrigenous components). Moscow-Leningrad: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1947, 338 p.
4. Belkin V. I., Ryazanov I. V. *O ponyatiyah sortirovannosti i odnorodnosti granulometricheskogo sosnava osadochnykh porod // Litologiya i Poleznye Iskopaemye* (About the concepts of sorting and homogeneity uniformity of granulometric composition of sedimentary rocks). Lithology and Mineral Resources, 1974, No. 2, pp. 133—139.
5. Wentzel E. S. *Teoriya veroyatnostey* (Probability theory). Moscow: Nauka, 1969, 576 p.
6. Vikulova M. F. General characteristics of clays. Methodical guide to petrographic-mineralogical study of clays. Moscow, 1957. pp. 7—90.
7. Grichuk V. P., Zaklinskaya E. D. *Analiz iskopaemykh pyl'tsy I spori ego primeneniye v paleogeografii* (Analysis of fossil pollen and spores and its application in paleogeography). Moscow: OGIz GEOGRAFGIZ, 1948, 224 p.
8. Kachinsky N. A. *Mekhanicheskii i mikroagregatnyi* (Mechanical and micro-aggregate composition of the soil, methods of its study). Moscow: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1958, 191 p.
9. Makeev A. B., Bryanchaninova N. I. *Mineralogiya, hromitonosnost' i platinonosnost' Polyarnogo Urala. Vestnik Instituta geologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya RAN* (Mineralogy, chromite and platinum content of the Polar Urals). Vestnik of Institute of geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Syktyvkar: Geoprint, 2000, No. 6, pp. 20—24.
10. Makeev A. B., Perevozchikov B. V., Afanasyev A. K. *Hromitonosnost' Polyarnogo i Pripolyarnogo Urala. Syktyvkar: Komi filial akademii nauk SSSR* (Chromite content of the Polar Urals. Syktyvkar: Komi Branch of the USSR Academy of Sciences), 1985, 152 p.
11. *Pyl'tsevyy analiz* (Pollen analysis). Moscow: State Publishing house of geological literature, 1950, 571 p.
12. Savelyeva G. N. *Gabbro-ul'trabazitovye komplekсы ofiolitov Urala i ih analogy v sovremennoy okeanicheskoy kore* (Gabbro-ultrabasic complexes of the Ural ophiolites and their analogues in the modern oceanic crust). Moscow: Nauka, 1987, 246 p. (Proceedings of the Geological Institute of the USSR Academy of Sciences; Issue 404).
13. Yurgaitis A. A. *Litogenez fluvioiglyatsialnykh otlozheniy oblasti poslednego materikovo oledeneniya* (Lithogenesis of fluvio-glacial deposits in the region of the last continental glaciation). Moscow: Nedra, 1984, 183 p.
14. Yakovlev S. A. *Osnovy geologii chetvertichnykh otlozheniy Russkoy ravniny (Stratigrafiya)* (Fundamentals of the geology of the Quaternary deposits of the Russian Plain (Stratigraphy)). Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1956, 351 p.
15. Erdtman G. Erdtman's Handbook of Palynology. 2nd ed. Ed. S. Nilsson, J. Pragłowski. Copenhagen, 1992, 580 pp.

Поступила в редакцию / Received 14.05.2021