



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 551.72 (470.1)

DOI: 10.19110/geov.2026.7.1

Возрастные ограничения верхнедокембрийских отложений Приполярного Урала и корреляция со смежными районами Тимано-Североуральского региона

А. М. Пыстин

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия, pystin.48@mail.ru

На севере Ляпинского антиклинория Приполярного Урала вскрывается наиболее полный для всего Тимано-Североуральского региона разрез докембрия, поэтому актуализация схем расчленения этих образований представляется важным не только для северной части Урала, но и для Канино-Тиманской гряды, на большей части которой отсутствуют (или не вскрыты эрозией) доверхнерифейские отложения. В последние 10–15 лет в результате U-Pb (LA-ICP-MS)-датирования детритовых зерен циркона из метатерригенных отложений верхнедокембрийской части приполярноуральского разреза установлены их возрастные соотношения. На основе новых геохронологических данных, как наших, так и заимствованных из литературных источников, уточнена стратиграфическая схема докембрийских образований этого района, проведен сравнительный анализ имеющихся фактических данных о возрасте позднедокембрийских толщ сопредельных районов Тимано-Североуральского региона, намечены их возрастные корреляции. Показано, что на Приполярном и Полярном Урале нижний возрастной рубеж верхнедокембрийских толщ не древнее 750 млн лет. На остальной части Тимано-Североуральского региона накопление верхнедокембрийских отложений также началось в позднем рифее, по-видимому, не ранее 800 млн лет назад.

Сопоставимость возрастных спектров зерен детритового циркона из позднедокембрийских терригенных (и метатерригенных) отложений Ляпинского антиклинория Приполярного Урала, Кваркушско-Каменногорского антиклинория Северного Урала и большинства районов Канино-Тиманской гряды дает основание предполагать, что все они формировались в одном бассейне осадконакопления за счет одних и тех же источников сноса обломочного материала. Отсутствие в позднедокембрийском разрезе Канино-Тиманской гряды и севера Урала нижнесреднерифейских отложений может быть объяснено высоким стоянием этой территории в допозднерифейское время и нахождением ее во внутренней части фрагмента суперконтинента Нуна/Колумбия, избежавшего деструкции вплоть до вхождения Балтики в Родинию.

Ключевые слова: Тимано-Североуральский регион, Приполярный Урал, верхнедокембрийские отложения, стратиграфия, корреляция, циркон, U-Pb-возраст

Age constraints for Upper Precambrian deposits in the Subpolar Urals and correlation with adjacent areas of the Timan-Northern Ural region

A. M. Pystin

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktывkar, Russia

The northern Lyapin anticlinorium of the Subpolar Urals exposes the most complete Precambrian section of the entire Timan-Northern Ural region. Therefore, updating the subdivision schemes of these formations is important not only for the Northern Urals but also for the Kanin-Timan Ridge, most of which lacks (or is not exposed by erosion) Pre-Upper Riphean deposits. Over the past 10–15 years, U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircon grains from metaterrigenous deposits of the Upper Precambrian part of the Subpolar Ural section has established their age relationships. Based on new geochronological data, both obtained with the author's participation and borrowed from literary sources, the stratigraphic scheme of Precambrian formations in this region has been refined, a comparative analysis of available factual data on the age of Late Precambrian strata in adjacent areas of the Timan-Northern Ural region has been conducted, and age correlations have been identified. It has been shown that in the Subpolar and Polar Urals, the lower age limit of Upper Precambrian strata is no older than 750 million years. In the rest of the Timan-Northern Ural region, accumulation of Upper Precambrian sediments also began in the Late Riphean, apparently no earlier than 800 million years ago.

Для цитирования: Пыстин А. М. Возрастные ограничения верхнедокембрийских отложений Приполярного Урала и корреляция со смежными районами Тимано-Североуральского региона // Вестник геонаук. 2026. 7(379). С. 3–20. DOI: 10.19110/geov.2026.7.1

For citation: Pystin A. M. Age constraints for Upper Precambrian deposits in the Subpolar Urals and correlation with adjacent areas of the Timan-Northern Ural region. Vestnik of Geosciences, 2026, 7(379), pp. 3–20. DOI: 10.19110/geov.2026.7.1

The comparability of age spectra of detrital zircon grains from the late Precambrian terrigenous (and metaterigenous) deposits of the Lyapin anticlinorium of the Subpolar Urals, the Kvar Kush-Kamennogorsk anticlinorium of the Northern Urals, and most areas of the Kanin-Timan Ridge suggests that they all formed in the same sedimentary basin from the same provenances. The absence of Lower-Middle Riphean deposits in the Late Precambrian section of the Kanin-Timan Ridge and the Northern Urals can be explained by the highstand of this area before the Late Riphean and its location within the inner part of the Nuna/Columbia supercontinent fragment, which escaped destruction until the incorporation of Proto-Baltica into Rodinia.

Keywords: *Timan-Northern Ural region, Subpolar Urals, Upper Precambrian deposits, stratigraphy, correlation, zircon, U-Pb age*

Введение

В последние 10–15 лет большое внимание в пределах Тимано-Североуральского региона, включающего Канино-Тиманский кряж, северные районы Урала, Пай-Хой и заключенную между ними Печорскую низменность, уделяется изучению позднепротерозойских структурно-вещественных комплексов. Большинство исследователей признают проявление в позднедокембрийской истории Тимано-Североуральского сегмента земной коры островодужного магматизма и складчатости и рассматривают формирование верхнепротерозойского структурного этажа с актуалистических позиций, выделяя этапы рифтогенеза, заложения палеокеана, образования пассивной континентальной окраины, субдукции и коллизии, хотя время проявления этих этапов, их масштабность и особенности геодинамической эволюции трактуются по-разному (Оловянишников, 1998; Gee, Pease, 2004; Нечеухин и др., 2009; Пучков, 2010; Кузнецов, 2008; Костюченко и др., 2012 и др.). Это связано в том числе с неодинаковой оценкой возраста и стратиграфической позиции отдельных докембрийских стратонтов в разных районах Тимано-Североуральского региона.

Установление возрастных ограничений верхнедокембрийского разреза северных районов Урала и Канино-Тиманской гряды, особенно ее нижней возрастной границы (вопрос, напрямую связанный со временем заложения Тиманской пассивной окраины), осложняется тем, что на всей этой территории предполагаемые подстилающие дорифейские толщи надежно выделяются только на Приполярном Урале в северной части Ляпинского антиклинория¹. Здесь вскрывается наиболее полный для всего Тимано-Североуральского региона разрез докембрия. Поэтому именно этот район может рассматриваться как один из опорных объектов для решения актуальных проблем верхнего докембрия Тимано-Североуральского региона. Тем не менее если исходить из признания возможности объединения верхнедокембрийских образований Канино-Тиманской гряды и Урала в единый мегакомплекс тиманид (Пучков, 2010), то вопросы возрастных ограничений, источников сноса и геодинамических условий образования верхнедокембрийских комплексов Приполярного Урала необходимо рассматривать

в сравнении с однотипными отложениями смежных районов Урала и Тимана. В 2019 г. нами была предпринята попытка оценить состояние вопроса со стратиграфической изученностью приполярноуральского докембрия и с учетом полученных к тому времени геологических и геохронологических данных предложен авторский вариант стратиграфического расчленения и возрастных ограничений верхнедокембрийских толщ этого района (Пыстин, Пыстина, 2019). Накопленные в последние годы геохронологические данные по верхнедокембрийским отложениям как Приполярного Урала, так смежных с ним районов определяют возможность актуализации ранее разработанной нами стратиграфической схемы докембрия Приполярного Урала, а также создают предпосылки для корреляции верхнедокембрийских разрезов разных районов севера Урала и Канино-Тиманской гряды.

Верхний докембрий Приполярного Урала

В стратиграфических схемах Урала, утвержденных на последнем (четвертом) Уральском межведомственном стратиграфическом совещании (Стратиграфические..., 1993) в позднедокембрийском разрезе Ляпинского антиклинория Приполярного Урала (рис. 1-1), как и в Башкирском мегантиклинории на Южном Урале, выделяются отложения всех трех подразделений рифея и вендские образования (снизу вверх): маньхобейнская (RF_1), щокуринская (RF_1), пуйвинская (RF_2), хобейнская (RF_3), мороинская (RF_3), саблегорская (RF_3-V_1) и лаптопайская (V_2) свиты (рис. 2, колонка 1). В более поздних схемах, разработанных при подготовке к изданию государственных геологических карт, названия и последовательность ранее выделенных стратиграфических подразделений была сохранена (рис. 2, колонки 2–4). Разногласия появились по поводу возраста маньхобейнской и щокуринской свит, которые были выделены в качестве базальных (маньхобейнская свита) и нижних уровней рифейского разреза (щокуринская свита) и отнесены к нижнему рифею (Стратиграфические..., 1993). В более поздних схемах они обозначены как среднерифейские образования. Кроме того, пуйвинская свита отнесена в верхнему рифею (Государственная..., 2001) (рис. 2, колонка 2), а няртинский метаморфический комплекс (няртинская свита, по авторам схемы) — к нижнему рифею (Государственная..., 2013) (рис. 2, колонка 4).

Целенаправленные геологические и геохронологические исследования метаморфических образований этого района подтвердили представление о дорифейском возрасте пород няртинского комплекса. U-Pb (LA-SF-ICP-MS)-возраст гранулитоморфных цирконов из гнейсов этого комплекса, вычисленный по верхнему пересечению дискордии с конкордией (по 44 ло-

¹ На п-ве Канин есть предпосылки для отнесения к дорифейскому разрезу метаморфических образований миккулинской серии (Пыстин, Пыстина, 2006). На Полярном Урале к нижнему докембрию относится харбейский полиметаморфический комплекс в составе четырех свит (снизу вверх): марункеуской, лаптаюганской, ханмейхойской и париквасьшорской (Государственная..., 2014). Однако степень геохронологического обоснования возраста пород названных подразделений остается недостаточной.

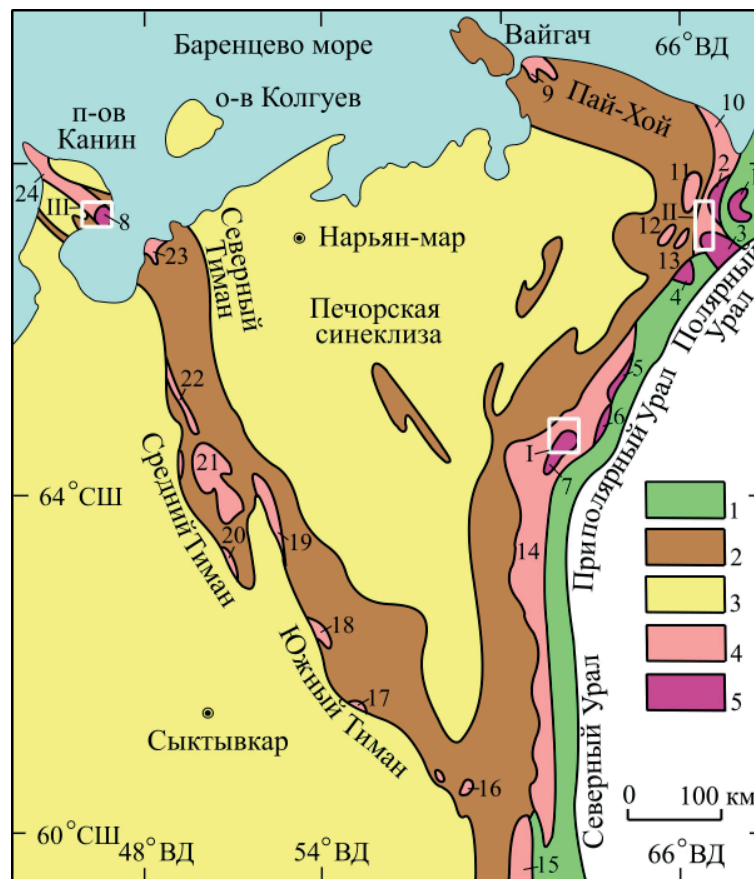


Рис. 1. Схема геологического строения Тимано-Североуральского региона

Условные обозначения: 1, 2 — палеозойские формации Урала и Тимана: 1 — палеоокеанические, 2 — палеоконтинентальные; 3 — платформенный чехол Восточно-Европейской платформы и Печорской плиты; 4 — слабометаморфизованные верхнедокембрийские комплексы; 5 — глубокометаморфизованные нижнедокембрийские и предположительно нижнедокембрийские комплексы (1 — малькский, 2 — марункеуский, 3 — харбейский, 4 — хараматалоуский, 5 — хордьюский, 6 — неркаюский, 7 — николайшорский, 8 — микулкинский). Основные области развития верхнего докембрия: 9 — Пай-Хой, 10 — северное и западное обрамление Харбейско-Марункеуского антиклинория, 11 — хребет Оченырды, 12 — хребет Енганепэ, 13 — хребет Манитаньрды, 14 — Центрально-Уральская зона Приполярного Урала, 15 — Кваркушское поднятие, 16 — Полюдовское поднятие, 17 — поднятие Жежимпарма, 18 — поднятие Очпарма, 19 — Вымская гряда, 20 — Обдырское поднятие, 21 — Четласское поднятие, 22 — Цилемское поднятие, 23 — Северный Тиман, 24 — Канин Камень. Белые прямоугольники — опорные участки для изучения базальных отложений верхнего докембрия: I — Ляпинский антиклинорий, западное и северо-западное обрамление николайшорского метаморфического комплекса, II — Харбейско-Марункеуский антиклинорий, западное обрамление марункеуского и харбейского метаморфических комплексов, III — п-ов Канин, северо-западное обрамление микулкинского метаморфического комплекса

Fig. 1. Geological structure of the Timan-Northern Ural region

Legend: 1, 2 — Paleozoic formations of the Urals and Timan: 1 — paleoceanic, 2 — paleocontinental; 3 — platform cover of the East European Platform and the Pechora Plate; 4 — weakly metamorphosed Upper Precambrian complexes, 5 — deeply metamorphosed Lower Precambrian and presumably Lower Precambrian complexes (1 — Malyk, 2 — Marunkeu, 3 — Kharbey, 4 — Kharamatalou, 5 — Khordy, 6 — Nerka, 7 — Nikolaishor, 8 — Mikulkin). The main areas of development of the Upper Precambrian: 9 — Pai-Khoi, 10 — northern and western framing of the Kharbey-Marunkeu anticlinorium, 11 — Ochenyrd ridge, 12 — Enganepe ridge, 13 — Manitynyrd ridge, 14 — Central Ural zone of the Subpolar Urals, 15 — Kvarkush uplift, 16 — Polyudovskoye uplift, 17 — Dzhezhiparma uplift, 18 — Ochparma uplift, 19 — Vym ridge, 20 — Obdyr uplift, 21 — Chetlasskoye uplift, 22 — Tsilma uplift, 23 — Northern Timan, 24 — Kanin Stone. White rectangles are reference areas for studying the basal deposits of the Upper Precambrian: I — Lyapin anticlinorium, western and northwestern framing of the Nikolaishor metamorphic complex, II — Kharbey-Marunkeu anticlinorium, western framing of the Marunkeu and Kharbey metamorphic complexes, III — Kanin Peninsula, northwestern framing of the Mikulkin metamorphic complex

кальным измерениям), оказался равным 2127 ± 31 млн лет (Пыстина и др., 2019). Было также получено изотопно-геохронологическое обоснование раннепротерозойского возраста пород маньхобеинской и щокурьинской свит (Пыстин, Пыстина, 2019). При этом было показано, что маньхобеинская свита не имеет самостоятельного стратиграфического значения, т. к. выделена ошибочно на месте комплекса низкотемпературных диафторитов по породам, аналогичным тем,

которыми сложен няртинский комплекс (Пыстин, Пыстина, 2014, 2019 и др.)².

² Учитывая, что няртинский комплекс и маньхобеинская свита были выделены на месте николайшорской свиты (Стратиграфические..., 1993), по М. В. Фишману (1971), за дорифейским метаморфическим комплексом, объединяющим эти геологические подразделения, следует оставить прежнее название — николайшорский.

Подразделения стратиграф. шкалы		1	2	3	4
		Стратиграфические подразделения: свиты (серии, комплексы)			
PR ₂	V	Лаптопайская	Лаптопайская		
		Саблегорская	Саблегорская	Саблегорская	Саблегорская
	RF ₃	Мороинская Хобеинская	Мороинская Хобеинская Пуйвинская	Мороинская Хобеинская	Мороинская Хобеинская
	RF ₂	Пуйвинская	Щокуринская Маньхобеинская	Пуйвинская Щокуринская Маньхобеинская	Пуйвинская Щокуринская Маньхобеинская
	RF ₁	Щокуринская Маньхобеинская			Няртинская свита
PR ₁		Няртинский комплекс	Няртинская серия	Няртинская свита	

Рис. 2. Стратиграфические схемы докембрийских отложений Приполярного Урала.
Источники: 1 — (Стратиграфические..., 1993), 2 — (Государственная..., 2001), 3 — (Государственная..., 2007), 4 — (Государственная..., 2013)

Fig. 2. Stratigraphic charts of Precambrian deposits in the Subpolar Urals
Sources: 1 — (Stratigraphic..., 1993), 2 — (State..., 2001), 3 — (State..., 2007), 4 — (State..., 2013)

Таким образом, установлено, что верхнедокембрийский разрез на Приполярном Урале начинается не с маньхобеинской или няртинской свит, а с пуйвинской свиты, как это предполагалось М. В. Фишманом (1971) и В. Н. Пучковым (2010 с ссылками). Вопрос о возрасте пород пуйвинской свиты, а следовательно и о нижнем возрастном ограничении приполярно-уральского верхнего докембрия, остается предметом обсуждения. К среднему рифею пуйвинскую свиту относят по наличию в породах среднерифейских микрофоссилий (Стратиграфические..., 1993). Однако впервые выполненные U-Pb (LA-SF-ICP-MS)-датировки детритовых цирконов (dZr) из метатерригенных сланцев пуйвинской свиты (Пыстин и др., 2019; Pystin et al., 2020) дали основание считать их верхнерифейскими образованиями.

Максимально возможный нижний возрастной предел начала формирования свиты, судя по рассчитанному средневзвешенному возрасту трех наиболее молодых зерен dZr, 883 ± 71 млн лет. Значение верхнего возрастного рубежа можно считать близким возрасту кислых вулканитов, согласно залегающих в средней-верхней частях разреза свиты: 647 ± 3 млн лет (циркон, U-Pb (LA-ICP-MS)-метод (Пыстин и др., 2025)). С учетом того что возраст рассматриваемого стратона не может быть древнее наиболее молодых датировок dZr, но может быть сколь угодно моложе, была сделана попытка оценить возможное время его формирования. Расчет показал, что при мощности

пуйвинской свиты около 1.5 км (по разным оценкам от 600 м до 2.0 км) и скорости накопления терригенных мелководно-морских отложений — 15–25 м/млн лет (Сеславинский, 1984), ее возрастной интервал не может быть более 100 млн лет. Принимая датировку кислых вулканитов за верхний возрастной предел свиты, ее нижний возраст можно ограничить рубежом около 750 млн лет.

За верхний временной предел геологического разреза доуралид Приполярного Урала может быть принят возраст кислых вулканитов в составе лаптопайской свиты, выделяемой в качестве орогенной молассы тиманид, — 522–514 млн лет (Удуратина и др., 2025 и ссылки в этой работе).

Таким образом, можно констатировать, что верхнедокембрийский разрез Приполярного Урала включает отложения второй половины верхнего рифея и всего венда. Венчающая разрез приполярноуральских тиманид лаптопайская свита, вероятно, имеет поздневендско-раннекембрийский возраст. В свете имеющихся данных может быть уточнен возраст хобеинской, мороинской и саблегорской свит. Судя по имеющимся датировкам dZr, хобеинская и мороинская свиты имеют позднерифейский или более молодой возраст (Пыстин и др., 2022). С учетом оценки верхнего возрастного рубежа пуйвинской свиты (около 650 млн лет) и возраста нижней границы венда, принятой в Общей стратиграфической шкале — 600 млн лет (Стратиграфический кодекс..., 2019), наиболее ве-



роятное время формирования хобеинской и мороинской свит — конец позднего рифея. За верхнюю возрастную границу мороинской свиты можно принять U-Pb-датировку циркона из прорывающих ее гранитов Кузьпуаюского массива — 601 ± 5 млн лет (Пыстин, Пыстина, 2008). Саблегорская свита, скорее всего, полностью относится к венду.

Однако решение вопроса о принадлежности верхнедокембрийских стратонев Приполярье Урала, как и других рассмотренных в статье районов, связано в том числе с возрастной оценкой нижней границы венда. Если принять нижнюю границу венда на уровне 640 млн лет (Семихатов и др., 2015) или 650 млн лет

(Сергеева, Пучков, 2022), то в разрезе верхнего докембрия Приполярье Урала только пуйвинская свита может принадлежать к верхнему рифею, а хобеинская, мороинская и саблегорская свиты должны быть отнесены к венду.

В настоящей статье, учитывая, что вопрос о нижней границе венда находится в стадии обсуждения, принимается вариант, утвержденный в Стратиграфическом кодексе России (2019).

Актуализированная схема стратиграфии докембрия северной части Ляпинского антиклинория и уточненная в соответствии с этой схемой геологическая карта приведены на рис. 3, 4.

Подразделения стратиграфической шкалы				Стратиграфические подразделения	Геохронологические данные
Акротема	Эонотема	Эратема	Система		
	Фанерозой	Палеозой	Кембрий		
Протерозой	Верхний Рифей	RF ₃	Венд	Лаптопайская свита	mZr 522 ± 8
				Саблегорская свита	mZr $550; 516 \pm 19; 519 \pm 17; 495 \pm 4$ Pb/Sr $586 \pm 21; 603 \pm 8$
				Мороинская свита	dZr 1057 ± 27
				Хобеинская свита	dZr $934 \pm 27; 988 \pm 28$
				Пуйвинская свита	dZr $883 \pm 71; 981 \pm 33$
Нижний		RF ₁		Щокуринская свита	mZr 2156 ± 44
				Николайшорский комплекс	mZr 2127 ± 31
				?	

Рис. 3. Стратиграфическая схема доордовикских отложений северной части Ляпинского антиклинория. Геохронологические данные: mZr — магматогенные и метаморфогенные цирконы, dZr — детритовые цирконы (U-Pb-датировки получены методами SIMS, TIMS, LA-ICP-MS). Возрастные границы подразделений стратиграфической шкалы приняты в соответствии со Стратиграфическим кодексом России (2019)

Fig. 3. Stratigraphic diagram of Pre-Ordovician deposits in the northern part of the Lyapin anticlinorium. Geochronological data: mZr — magmatic and metamorphic zircons, dZr — detrital zircons (U-Pb dates were obtained using SIMS, TIMS, and LA-ICP-MS methods). The age boundaries of the stratigraphic scale units are adopted in accordance with Stratigraphic Code of Russia (2019)

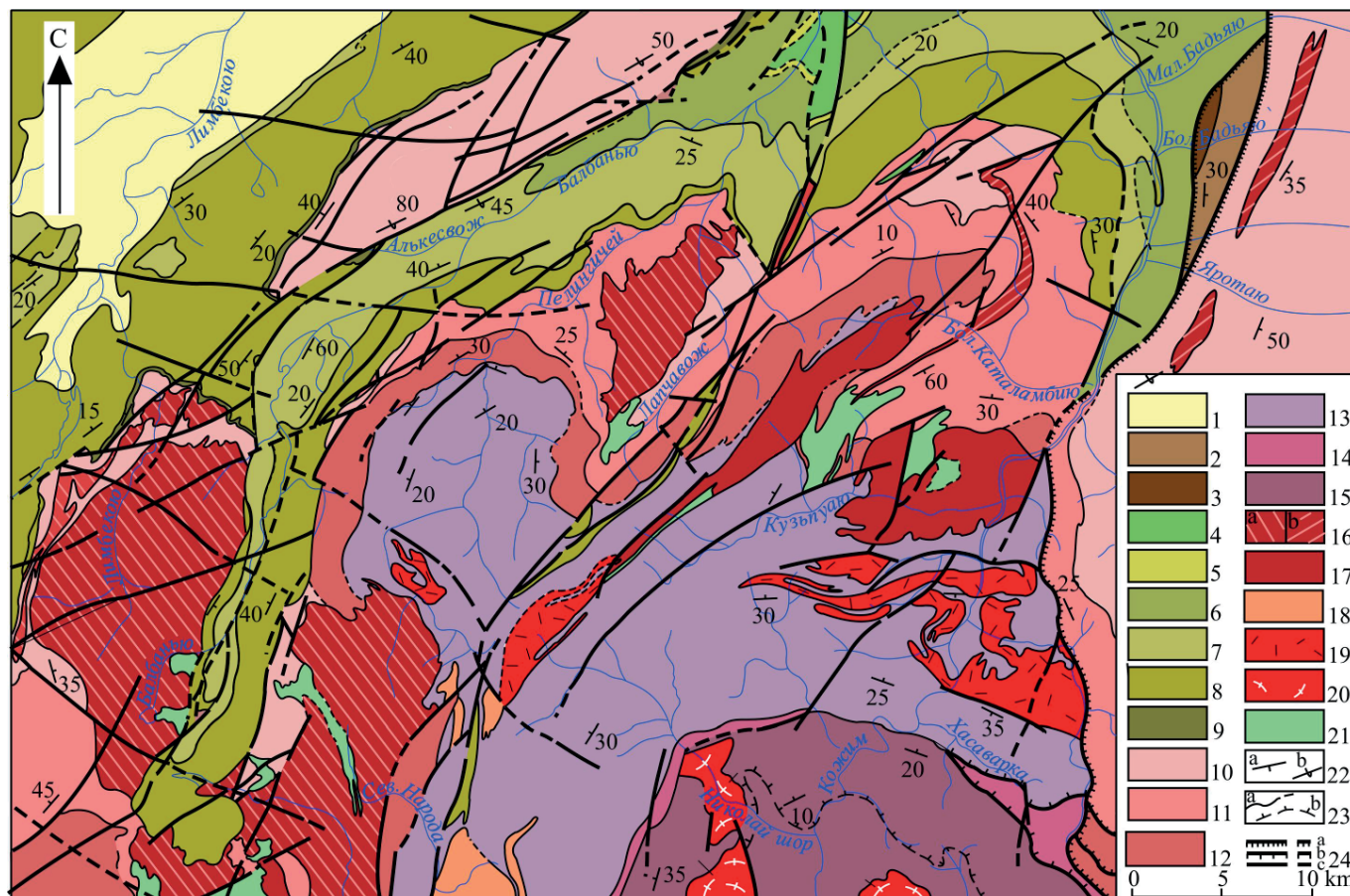


Рис. 4. Геологическая карта северной части Ляпинского антиклинария (по: Пыстин, 2021) с уточнениями: 1 — верхнечетвертичные–современные отложения (Q_{3-4}), 2 — надотамыльская свита (D_{2-3}), 3 — верхнесилурийско-нижнедевонские отложения (S_2-D_1), 4 — силурийские отложения (S_{1-2}), 5 — верхнеордовикские отложения (O_3), 6 — кожимская свита (O_2), 7 — салецкая свита (O_{1-2}), 8 — обеизская свита (O_1), 9 — алькесвожская толща (E_3-O_1), 10 — саблегорская свита (V_1), 11 — мороинская свита (RF_3-V_1), 12 — хобеинская свита (RF_3), 13 — пуйвинская свита (RF_3), 14 — шокуринская свита (PR_1), 15 — николайшорский метаморфический комплекс (PR_1), 16–19 — гранитоидные и диорит-тоналитовые комплексы: 16 — сальнеро-маньхамбовский гранитный ($V-E_1$): а — I фаза, б — II фаза, 17 — водораздельный гранитный (V_1), 18 — панэчаизский диорит-тоналитовый (RF_3), 19 — кожимский гранитный (RF_3), 20 — николайшорский гранито-гнейсовый комплекс (PR_1), 21 — парнукский габбро-диоритовый комплекс (V_1), 22 — элементы залегания плоскостных структур (слоистости, полосчатости, сланцеватости): а — нормальное залегание, б — опрокинутое залегание, 23 — геологические и метаморфические границы: а — границы геологических тел, б — внутренняя граница зоны низкотемпературных диафторитов («маньхобеинской свиты»), 24 — тектонические границы: а — шарьяжи и надвиги, б — взбросы и сбросы, с — крутопадающие дизъюнктивы

Fig. 4. Geological map of the northern part of the Lyapin anticlinorium (according to Pystin, 2021) with clarifications: 1 — Upper Quaternary–modern sediments (Q_{3-4}), 2 — Nadotamyl formation (D_{2-3}), 3 — Upper Silurian–Lower Devonian sediments (S_2-D_1), 4 — Silurian sediments (S_{1-2}), 5 — Upper Ordovician sediments (O_3), 6 — Kozhim formation (O_2), 7 — Saled formation (O_{1-2}), 8 — Obyiz formation (O_1), 9 — Alkesvozh formation (E_3-O_1), 10 — Sablegorsk formation (V_1), 11 — Moroin formation (RF_3-V_1), 12 — Khobein formation (RF_3), 13 — Puiva formation (RF_3), 14 — Shchokurya formation (PR_1), 15 — Nikolaishor metamorphic complex (PR_1), 16–19 — granitoid and diorite-tonalite complexes, 16 — Salnero-Mankhambov granite ($V-E_1$): a — I phase, b — II phase, 17 — Vodorazdel'ny granite (V_1), 18 — Panechayz diorite-tonalite (RF_3), 19 — Kozhim granite (RF_3), 20 — Nikolaishor granite-gneiss (PR_1), 21 — Parnuk gabbro-diorite complex (V_1), 22 — elements of bedding of planar structures (layering, banding, schistosity): a — normal bedding, b — overturned bedding, 23 — geological and metamorphic boundaries: a — boundaries of geological bodies, b — internal boundary of the zone of low-temperature diaphthorites («Mankhobein formation»), 24 — tectonic boundaries: a — nodules and thrusts, b — faults and faults dew, c — steeply dipping disjunctives

Верхний докембрий смежных районов Урала

На Полярном Урале наиболее полный разрез докембрия обнажается в пределах Харбейско-Марункеуского антиклинария (рис. 1-II), где на сложнодислоцированных полиметаморфических образованиях, относящихся к нижнему протерозою (Стратиграфические..., 1993), с глубоким разрывом залегают верхнепротерозойские отложения. В основании верх-

недокембрийского разреза выделяется няровейская серия (RF_2), состоящая из трех свит (снизу вверх): верхнехарбейской, минисейшорской и лаптаяхинской (Стратиграфические..., 1993). Вышезалегающие отложения в составе кузшорской, немурюганской и надаптарской свит объединяются в лонготюганскую серию (RF_3), на которой с разрывом залегают войвахинская свита (V_2). При подготовке к изданию государственных геологических карт м-ба 1:200000 западной части Харбейско-Марункеуского антикли-



нория (Государственная..., 2014) была установлена следующая последовательность стратиграфических подразделений верхнего протерозоя. В основании разреза выделены верхнехарбейская и минисейшорская свиты, объединенные в няровейскую серию. Возраст пород принят условно как среднерифейский по залеганию ниже мраморизованных известняков немурюганской свиты с микрофитолитами IV (укского) комплекса рифея. Залегающая выше немурюганская свита соответственно отнесена к верхнему рифею. Взаимоотношения между свитами согласные. Залегающая со стратиграфическим несогласием на разных горизонтах немурюганской свиты сядатинская свита условно отнесена к вендско-кембрийским образованиям по стратиграфическому положению в разрезе выше отложенный немурюганской свиты.

Впервые выполненное U-Pb (LA-ICP-MS)-датирование детритовых зерен циркона из базальных отложений полярноуральского верхнего докембрия (верхнехарбейской и минисейшорской свит) показало их принадлежность к верхнему рифею. Рассчитанный средневзвешенный возраст по трем наиболее молодым зернам циркона в верхнехарбейской свите оказался равным 686 ± 5 млн лет (Пыстин и др., 2024), в минисейшорской свите — 663 ± 6 млн лет (Уляшева и др., 2019). Верхний возрастной рубеж серии определяет U-Pb (LA-ICP-MS)-датировка зерен циркона из метариолитов, залегающих в нижней части разреза немурюганской свиты, согласно перекрывающей няровейскую серию, — 658 ± 2 млн (Пыстин и др., 2024). Установленная датировка циркона из метариолитов не противоречит тому, что в породах немурюганской свиты установлено наличие микрофитоцитов IV (укского) комплекса рифея, что дает дополнительное основание относить это стратиграфическое подразделение к укскому уровню. Нижний возрастной уровень няровейской серии можно, как и в случае с пуйвинской свитой Приполярного Урала, оценить по рассчитанному времени накопления осадочной толщи с учетом ее мощности около 1700 м (Стратиграфические..., 1993) и скорости осадконакопления — 15–25 м/млн лет (Сеславинский, 1984). Рассчитанное время накопления осадочной толщи составляет примерно от 70 до 110 млн лет. Возможный временной интервал ее формирования — от 760–730 млн лет назад (нижняя граница) до 658 млн лет назад (верхняя граница). Учитывая минимальный возраст dZr из пород нижней части няровейской серии (верхнехарбейской свиты) — 686 ± 5 млн лет — и положение отобранной пробы в разрезе (примерно в 150 м выше подошвы), за начало формирования верхнедокембрийских отложений в рассматриваемой части Полярного Урала следует принять минимальное значение — 730 млн лет. Таким образом, возрастной интервал формирования няровейской серии находится примерно в пределах 730–660 млн лет назад.

Завершающая верхнедокембрийский разрез Полярного Урала сядатинская свита, как уже было отмечено выше, условно относится к венду по стратиграфическому положению в разрезе выше отложенный немурюганской свиты (Государственная..., 2014).

Из приведенных выше данных видно, что намечается вполне определенная возрастная корреляция как базальных стратонев верхнего докембрия Ляпин-

ского и Харбейско-Марункеуского антиклинориев: пуйвинской свиты (около 750–650 млн лет) и няровейской серии (около 730–660 млн лет) соответственно, так и в целом верхнепротерозойского разреза этих районов.

В западной части Полярного Урала на поднятиях Оченырда, Енганепэ и Манитанырда (рис. 1-11, -12, -13) в верхнедокембрийском разрезе выделяются (снизу вверх) бедамельская серия (RF₃) и енганепэйская свита (V) (Стратиграфические..., 1993). Обоснование возраста дается по находкам строматолитов, микрофитоцитов и микрофоссилий в породах бедамельской серии и микрофоссилий в породах енганепэйской свиты.

При геологическом доизучении м-ба 1:200 000 в 2000–2004 гг. в северной части поднятия Енганепэ в бассейне р. Манюкуяха терригенная толща, относившаяся ранее к енганепэйской свите, была выделена в манюкуяхинскую свиту, подстилающую отложения бедамельской серии (Государственная..., 2007). Позднее манюкуяхинская свита была выделена и в других районах западной части Полярного Урала. Возраст отложений был определен как позднерифейский на основании находок онколитов.

Накопленные в настоящее время геохронологические данные дают возможность для уточнения возрастных ограничений упомянутых стратиграфических подразделений. Пока они получены только для района Енганепэ (рис. 1-12).

Значение нижней возрастной границы енганепэйской свиты определяют U-Pb-датировки цирконов из туфовых прослоев вблизи ее границы с бедамельской серией — 552 ± 4 и 559 ± 4 млн лет (Соболева и др., 2013). Эти же цифры можно принять в качестве оценки верхнего возрастного ограничения бедамельской серии. Верхний возраст енганепэйской свиты ограничен рубежом 528 млн лет — возрастом самых молодых туфогенных цирконов в ней (Соболева и др., 2012). Таким образом, время формирования енганепэйской свиты можно ограничить интервалом 560–530 млн лет. Нижний возраст бедамельской серии не установлен, но он явно превышает 638 ± 5 млн лет. Такой возраст имеют гранитоиды массива Южный, прорывающие бедамельскую серию в южной части поднятия Енганепэ (Соболева и др., 2012). По оценке А. А. Соболевой и ее коллег (Соболева и др., 2008), он может быть условно определен в 670 млн лет.

Надежные геохронологические данные для оценки возраста манюкуяхинской свиты отсутствуют, но некоторые предположения о возрастных ограничениях этого стратиграфического подразделения сделать можно. Верхний возрастной рубеж, естественно, может быть ограничен значением 670 млн лет. Время формирования свиты с учетом видимой мощности 1.3–2.0 км (Государственная..., 2007) и скорости накопления отложений 15–25 м/млн лет (Сеславинский, 1984) составит от 50 до 130 млн лет, что дает возможное значение нижней возрастной границы в интервале 720–800 млн лет.

Однако следует упомянуть об альтернативной точке зрения, согласно которой нет серьезных оснований для выделения в бассейне р. Манюкуяха самостоятельного стратиграфического подразделения, залегающего ниже вулканитов бедамельской серии. Отмечается, что участвующие в строении разреза толщи осадоч-

ных пород в бассейне р. Манюкуяха не могут быть древнее чем 590 млн лет, на что указывают результаты U-Pb-датирования dZr из этих пород (Кузнецов и др., 2009). Других изотопно-геохронологических данных, подтверждающих рифейский возраст «манюкуяхинской свиты», на сегодняшний день нет. Поэтому вопрос о правомерности выделения на поднятии Енганепэ и в других районах западной части Полярного Урала манюкуяхинской свиты остается открытым.

Таким образом, на поднятии Енганепэ видимый верхнедокембрийский разрез представлен (снизу вверх): манюкуяхинской свитой (что требует дополнительного обоснования), возраст которой может быть ограничен второй половиной позднего рифея, бедамельской серией позднерифейско-ранневендского возраста и преимущественно поздневендской енганепэ-ской свитой, вероятно с выходом в ранний кембрий.

На Пай-Хое докембрийские образования слагают ядро Амдерминской антиклинали (рис. 1-9). В разрезе докембрия этого района выделяются (снизу-вверх): амдерминская (RF₃), морозовская (RF₃) и сокольниковская (RF₃-V) свиты (Стратиграфические..., 1993). Возраст пород первых двух свит обосновывается находками строматолитов и микрофитолитов, третьей — микрофоссилий. Результаты датирования dZr из терригенных пород сокольниковской свиты (Канева и др., 2015), а также магматических цирконов из входящих в состав свиты субвулканических плагиогранит-порфиров (Вовчина, Соболева, 2020) подтверждают позднерифейско-вендский возраст сокольниковской свиты: U-Pb-возраст цирконов из плагиогранит-порфиров, залегающих в основании свиты, — 633 ± 14 млн лет. В то же время на основе Sr-изотопной стратиграфии установлено, что амдерминская свита относится к раннему венду, а морозовская свита — ко второй половине позднего рифея (Кузнецов и др., 2016). Эти данные свидетельствуют, что на Пай-Хое, как и в описанных выше районах Приполярного и Полярного Урала, видимый разрез верхнего докембрия включает отложения второй половины верхнего рифея и венда, а результаты Sr-изотопной хемотратиграфии могут указывать на то, «что докембрийский разрез Амдерминского поднятия не является единой стратиграфической последовательностью, а представляет собой серию тектонических пластин, совмещенных в нехроностратиграфическом порядке» (Кузнецов и др., 2016, стр. 450).

На Северном Урале наиболее полный и хорошо изученный разрез верхнего докембрия известен в пределах Ишеримского антиклинория. Нижние части вскрытого разреза докембрия представлены (снизу вверх) расьинской и мойвинской свитами. Находки строматолитов в карбонатных породах мойвинской свиты, характерных для среднего и позднего рифея, дали основание отнести эти стратиграфические подразделения к среднему рифею, а залегающие выше (снизу вверх) ишеримскую, велсовскую и чувальскую свиты — к верхнему рифею (Стратиграфические..., 1993). При датировании dZr из метапесчаников нижней части ишеримской свиты было установлено, что возраст наиболее молодого зерна равен 1150 млн лет (Петров и др., 2015). На основании этих данных, а также имеющейся Sm-Nd-датировки метадолеритов из силла в ишеримских кварцитопесчаниках (1079 ± 41 млн лет) возраст свиты был определен как среднерифейский.

Однако уточнение возраста карбонатных пород мойвинской свиты с помощью Sr-изотопной стратиграфии показало, что они накапливались в интервале 700–640 млн лет назад (Кузнецов и др., 2026). Это противоречит представлению об их среднерифейском возрасте и означает, что залегающие выше стратоны, в том числе и ишеримская свита, моложе 640 млн лет.

На Северном Урале докембрийский разрез вскрывается также в центральной и северной частях хр. Кваркуш. Здесь в ядре Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория обнажается толща серицит-хлорит-кварцевых сланцев, кварцитопесчаников и кварцитов басегской серии. На основании находок комплекса микрофоссилий, а также результатов Rb-Sr-изохронного датирования трахитов, распространенных в разрезе серии 671 ± 24 млн лет (Ронкин, 1989), она относится к криволукскому уровню позднего рифея (Стратиграфические..., 1993). Выполненное недавно U-Pb (LA-ICP-MS)-датирование зерен dZr (возраст двух наиболее молодых зерен — 999 ± 72 млн лет) ограничивает максимально возможное время начала накопления обломочного материала басегской серии началом позднего рифея (Соболева и др., 2026а). Это не противоречит тому, что серия могла начать формироваться значительно позже. Расчет возможного времени накопления осадочной толщи с учетом ее мощности около 3000 м (Стратиграфические..., 1993) и скорости осадконакопления 15–25 м/млн лет (Сеславинский, 1984) дает интервал 120–200 млн лет. Учитывая, что в составе серии широко представлены терригенные породы псаммитовой размерности, значение времени накопления должно быть ближе к минимальному уровню. Это дает основание предположить, что нижний возрастной рубеж серии не более 800 млн лет.

Верхний докембрий Канино-Тиманской гряды

Докембрийские отложения в пределах Канино-Тиманской гряды фрагментарно обнажаются и частично вскрыты скважинами на ряде поднятий (с северо-запада на юго-восток): на п-ве Канин (Канин Камень, мысы Лудоватые), Северном Тимане, Среднем Тимане (Цилемское, Четласское, Обдырское и Вымское поднятия), Южном Тимане (Очпарминское и Джежимское поднятия, Немская возвышенность). В результате большой подготовительной работы и последующего проведения Сыктывкарского межведомственного стратиграфического совещания (Сыктывкар, 1983 г.) была разработана Корреляционная схема верхнего докембрия Европейского Севера СССР, часть которой, касающаяся п-ва Канин и Тимана, приведена на рис. 5. Маркирующим горизонтом, объединяющим разрозненные разрезы этого региона, является карбостромовая формация, протягивающаяся вдоль всей гряды от п-ва Канин (свита мысов Лудоватых) до Полюдова кряжа на Северном Урале (низьвенская свита). Она отвечает миньярскому уровню стратотипических разрезов рифея Южного Урала (Рифей и венд..., 1987). Для обладающих в докембрийском разрезе терригенных отложений принятый возрастной интервал в Схеме Сыктывкарского стратиграфического совещания включает все подразделения рифея и венд (рис. 5). Однако степень обоснованности многих стратонов осталась

КАНИНО-ТИМАНСКАЯ ГРЯДА						Башкирский антиклинорий
ОБЩАЯ СТРАТИГРА- ФИЧЕСКАЯ ШКАЛА	Канинский вал		Мысы Лудоватые		Северотиманский вал	
	ВЕРХНИЙ		РИФЕЙ		Четласко-Цилемский вал	Вымский вал
ПРОТЕРОЗОЙ	ВЕНД	ВЕРХНИЙ	Горелоредская свита до 1000 м Подлейская свита 1800 м	Горелоредская свита до 1000 м Подлейская свита 1800 м		Зиганская свита 0-400 м Кукаркаульская свита 100-350 м Басинская свита 600-900 м
		НИЖН.	Малахинская свита 3400 м	Лудоватая свита 600 м		Урюкская свита 300-400 м
КУДАШ	РИФЕЙ	ВЕРХНИЙ	Тархановская серия Сланцево-кварцитовая толща 2000 м Сланцевая толща до 2500 м Кварцево-сланцевая толща до 5000 м	Тархановская серия Сланцево-кварцитовая толща 2000 м Сланцевая толща до 2500 м Кварцево-сланцевая толща до 5000 м	Лямчинская свита >40 м	Кургашлинская свита 200 м Криволукская серия 400 м
		НИЖН.	Миклукинская серия до 1500 м	Миклукинская серия до 1500 м	Шойнинская свита >1000 м	Уксая свита 150-550 м
ВЕРХНИЙ	РИФЕЙ	ВЕРХНИЙ	Тархановская серия Сланцево-кварцитовая толща 2000 м Сланцевая толща до 2500 м Кварцево-сланцевая толща до 5000 м	Тархановская серия Сланцево-кварцитовая толща 2000 м Сланцевая толща до 2500 м Кварцево-сланцевая толща до 5000 м	Паунская свита 1000-1300 м Павьюгская свита 700-1000 м Рочутская свита >400 м Ворыквин- ская свита >400 м Аньюгская свита >200 м	Миньярская свита 400-700 м Инзерская свита 200 м 700-1200 м Катавская свита 400-600 м Зильмердакская свита 1350-3000 м
		СРЕДНИЙ	Тархановская серия Сланцево-кварцитовая толща 2000 м Сланцевая толща до 2500 м Кварцево-сланцевая толща до 5000 м	Тархановская серия Сланцево-кварцитовая толща 2000 м Сланцевая толща до 2500 м Кварцево-сланцевая толща до 5000 м	Визингская свита до 2000 м Новобобровская свита 500 м Светлинская свита > 600 м	Авзянская свита 900-1500 м Зигазино-комаровская свита 850-1200 м Зигальгинская свита 850-1050 м Машакская свита 900-2300 м Бакальская свита 1200-1400 м Саткинская свита 1900-2100 м Айская свита 1200-2200 м
НИЖНИЙ	РИФЕЙ	ВЕРХНИЙ	Тархановская серия Сланцево-кварцитовая толща 2000 м Сланцевая толща до 2500 м Кварцево-сланцевая толща до 5000 м	Тархановская серия Сланцево-кварцитовая толща 2000 м Сланцевая толща до 2500 м Кварцево-сланцевая толща до 5000 м	Четласская серия	Кыквожская свита >600 м Лунвожская свита >3000 м Покъюская свита >3000 м Пижемская свита >900 м Клеоновская свита >900-950 м
		НИЖН.	Миклукинская серия до 1500 м	Миклукинская серия до 1500 м	Четласская серия	Кыквожская свита >600 м Лунвожская свита >3000 м Покъюская свита >3000 м Пижемская свита >900 м Клеоновская свита >900-950 м

Рис. 5. Корреляционная схема верхнего докембрия Канино-Тиманской гряды (по: Рифей и венд..., 1987)
Fig. 5. Correlation scheme of the Upper Precambrian of the Kanin-Timan ridge (according to Riphean and Vendian..., 1987)

невысокой. Единственным методом для оценки возраста терригенных пород был метод изучения микрофоссилий, результаты применения которого были признаны противоречивыми (Рифей и венд..., 1987).

Анализ материалов Сыктывкарского стратиграфического совещания привел одного из его основных организаторов В.Г. Оловянишникова к необходимости кардинальной ревизии сложившихся к тому времени стратиграфических построений. Им были сформулированы

принципы и методы расчленения и корреляции докембрийских пород региона и на основе комплексного анализа геологических, палеонтологических, геофизических и геохимических данных (Оловянишников, 1998) предложен новый вариант стратиграфических соотношений докембрийских отложений Тимана и п-ва Канин (рис. 6).

Краеугольным камнем новой стратиграфической парадигмы было положение о том, что в основании

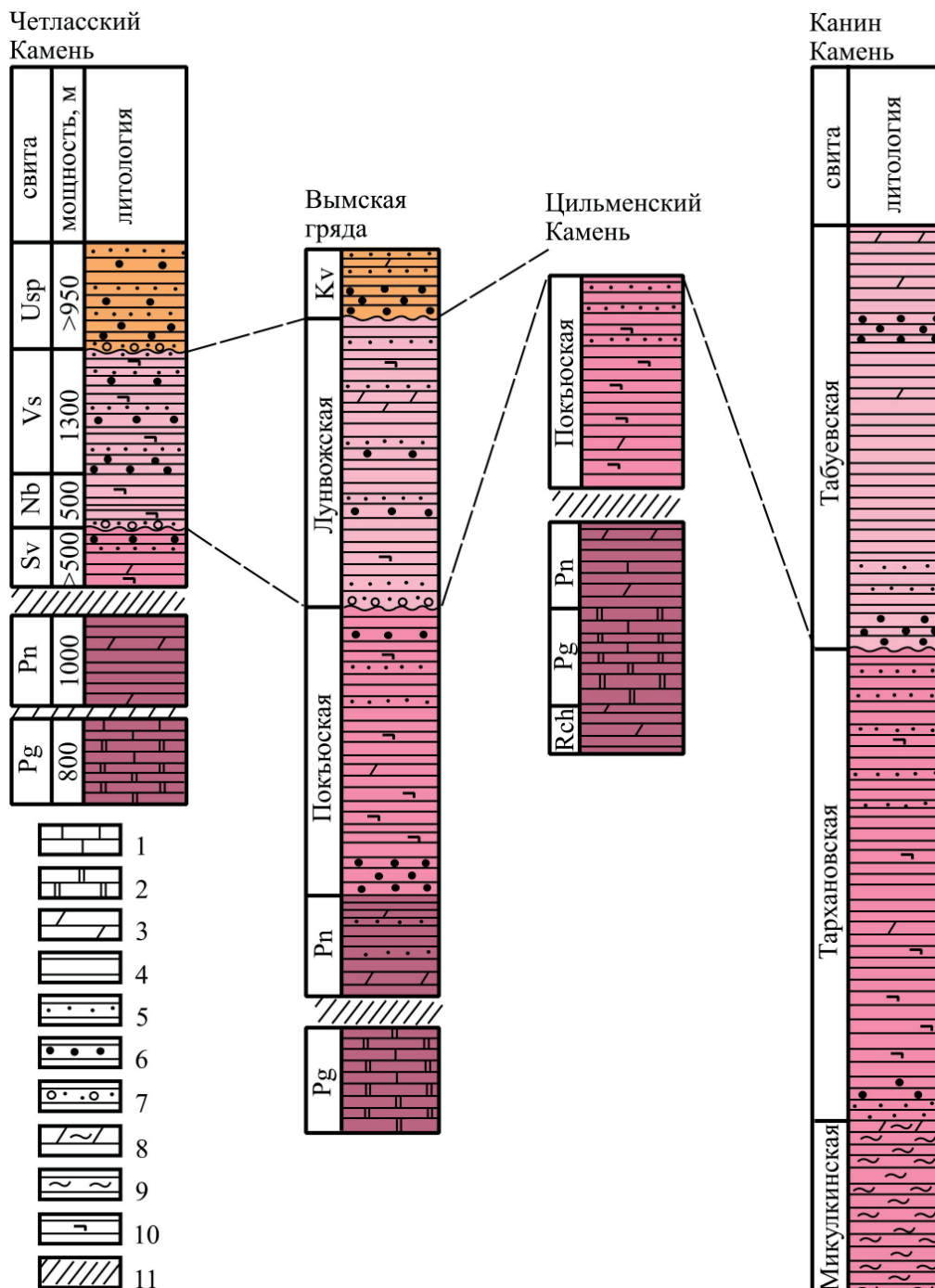


Рис. 6. Сводные литологические колонки верхнего докембрия Тимана и Канина Камня (по: Оловянишников, 1998): 1 — известняки; 2 — доломиты; 3 — мергели и известковистые сланцы, 4 — глинистые сланцы; 5 — алевролиты и кварцево-слюдистые сланцы; 6 — песчаники и кварцитопесчаники; 7 — гравелиты и конгломераты, 8 — диопсид-амфиболовые мраморы; 9 — кристаллические сланцы и парagneйсы; 10 — темносланцевые толщи, обогащенные титаном и марганцем; 11 — тектонические или необнаженные контакты

Fig. 6. Summary lithologic columns of the Upper Precambrian of Timan and Kanin Kamen (after Olovyanishnikov, 1998): 1 — limestones; 2 — dolomites; 3 — marls and calcareous shales, 4 — clay shales; 5 — siltstones and quartz-mica shales; 6 — sandstones and quartzite sandstones; 7 — gravelites and conglomerates, 8 — diopside-amphibole marbles; 9 — crystalline schists and paragneisses; 10 — dark shale strata enriched in titanium and manganese; 11 — tectonic or exposed contacts



наблюдаемых разрезов канино-тиманского докембрия залегают терригенно-карбонатные отложения быстринской серии. Отложения четлаской и вымской серий были отнесены ко второй половине верхнего рифея (главным образом к той части, которая ранее выделялась как «терминальный рифей», или «кудаш») и нижнему венду (?). Основанием для этого послужили, в частности, находки в отложениях четлаской серии следов жизнедеятельности бесскелетной фауны.

К настоящему времени выполнен значительный объем U-Pb-изотопного датирования dZr в позднедокембрийских терригенных отложениях Тимана и п-ва Канин. В результате для многих верхнедокембрийских стратоноров определен их максимально возможный нижний возрастной рубеж и сделаны предположения о вероятных источниках сноса обломочного материала.

На п-ве Канин наиболее молодые зерна циркона в породах тархановской и табуевской серий (рис. 1-24) оказались менее 1 млрд лет: 989 ± 56 млн лет — в первой из названных серий и 995 ± 86 млн лет — во второй (Соболева и др., 2022). Для подстилающих глубокометаморфизованных парагнейсов микулкинской серии (рис. 1-8) нами ранее был установлен U-Pb-возраст метаморфогенных цирконов — 1948 ± 15 млн лет, который можно рассматривать как верхний возрастной предел слагающих серию пород (Пыстин, Пыстина, 2006). Это определяет принадлежность микулкинской серии к образованиям дорифейского структурного этажа. А рифейский разрез п-ва Канин, судя по датировкам dZr, начал формироваться не раньше позднего рифея.

На Северном Тимане U-Pb-датирование dZr из пород румяничной, малочерноречейской и ямбозерской свит (рис. 1-23), слагающих нижнюю, среднюю и верхнюю части видимого разреза барминской серии (Андреичев и др., 2018), показало, что минимальные возрасты цирконов из этих свит приурочены к рубежу 1 млрд лет, то есть накопление отложений происходило не ранее чем на рубеже среднего и позднего рифея.

На Среднем Тимане наиболее полный разрез верхнего докембрия известен на Четласском поднятии (рис. 1-21). U-Pb-возраст dZr из терригенных отложений всех трех свит четлаской серии: светлинской, новобобровской и визингской оказался близким к рубежу 1.1 млрд лет (Удортатина и др., 2017; Brustnitsyna et al., 2022). Результаты U-Th-Pb-датирования обломочного рутита из метапесчаников визингской свиты четлаской серии и лунвожской свиты вымской серии, обнаженной на Вымской гряде (рис. 1-19), показали, что максимально возможный возраст отложений — позднерифейский: 878–926 и 885–904 млн лет соответственно (Brustnitsyna et al., 2022). Отметим также, что в последнее время опубликованы данные о находках на Четласском поднятии остатков и следов вендских мягкотелых организмов в визингской и устьпалежской свитах (Паньков и др., 2025). Это подтверждает достоверность диагностики следов жизнедеятельности бесскелетной фауны в отложениях четлаской серии В. Г. Оловянишниковым (1998) и с высокой степенью вероятности может указывать на относительно молодой нижний возрастной рубеж слагающих ее отложений, по-видимому соответствующий концу позднего рифея.

На Южном Тимане наиболее полный разрез известен на возвышенности Жежимпарма (рис. 1-17).

Он сложен терригенно-карбонатными отложениями и представлен джежимской, ышкемесской и ваполской свитами. Из-за плохой обнаженности взаимоотношения между свитами остаются до конца не выясненными. Расположение песчано-алевролитовой джежимской свиты в основании видимого разреза принимается условно. В соответствии с легендой второго издания Тиманской серии листов ГТК-200 РФ (Опаренкова, Иванов, 1999) она относится к верхнему рифею и наращивается ышкемесской и ваполской свитами, сложенными доломитами с редкими прослоями и линзами алевролитов и аргиллитов, иногда песчаников. Принадлежность двух последних свит к верхнему рифею подтверждается палеонтологическими данными.

Первые результаты U-Pb-датирования dZr из песчаников джежимской свиты (Кузнецов и др., 2010), как и последующие U-Pb-возрастные определения циркона из пород этого стратиграфического подразделения (Латышева и др., 2022; Гракова и др., 2024; Соболева и др., 2024), не противоречат представлению о позднерифейском или более молодом возрасте пород. Минимальное значение возраста dZr из пород джежимской свиты составляет 1042 ± 18 млн лет (Кузнецов и др., 2010). В последнее время в породах этой свиты были найдены ископаемые остатки организмов эдикарского типа, наиболее близкие верхневендской биоте Среднего Урала (Колесников и др., 2023). Это дает основание предполагать, что терригенные породы джежимской свиты имеют позднерифейско-вендский возраст и занимают более высокое стратиграфическое положение по отношению к существенно карбонатным ышкемесской и вапольской свитам.

Корреляция верхнедокембрийских отложений Тимано-Североуральского региона

Верхнедокембрийские отложения Тимано-Североуральского региона представлены преимущественно терригенными и метатерригенными образованиями. Они слабо палеонтологически охарактеризованы, что затрудняет оценку их стратиграфической позиции и корреляцию разноудаленных разрезов. Как было отмечено выше, маркирующим горизонтом, объединяющим разрозненные разрезы, могут служить карбонатные и терригенно-карбонатные породы в пределах Тимано-Канинской гряды, прослеживающиеся узкой полосой в ее центральной части. Они объединяются в быстринскую серию и на основании находок строматолитов и микрофитолитов относятся к миньярскому уровню верхнего рифея (Рифей и венд..., 1987). Вопрос о возможности корреляции карбонатных толщ в разрезе верхнего докембрия северной части Урала с быстринской серией пока остается нерешенным. Полученная в последние годы возрастная оценка карбонатсодержащих отложений с использованием метода Sr-изотопной стратиграфии на Северном Урале (мойвинская свита) свидетельствует об их принадлежности к верхам позднего рифея (Кузнецов и др., 2026), на Пай-Хое (амдерминская свита) — к нижнему венду (Кузнецов и др., 2016). На Приполярном Урале, как было отмечено выше, мороинская свита, скорее всего, относится к самым верхам верхнего рифея и, по-види-

тому, к венду. На Полярном Урале (немурюганская свита) — к укскому уровню верхнего рифея.

Таким образом, на современном этапе изученности можно констатировать, что верхнедокембрийские стратоны Тимано-Североуральского региона, в которых существенная роль принадлежит карбонатным отложениям, формировались во второй половине позднего рифея и в раннем венде. При этом не исключается их образование на разных возрастных уровнях. Возможности палеонтологического метода для уточнения возраста и корреляции карбонатсодержащих толщ Канино-Тиманской гряды и севера Урала практически исчерпаны. На сегодняшний день наиболее доступным и перспективным для решения этого вопроса представляется метод Sr-изотопной стратиграфии.

Стратиграфическая позиция терригенных (и метатерригенных) отложений в верхнедокембрийском разрезе северной части Урала и на Пай-Хое более-менее однотипна. Они подстилают карбонатсодержащие стратоны, которые, в свою очередь, могут перекрываться более молодыми терригенными или вулканогенными образованиями. На Приполярном Урале, где уверенно устанавливается последовательность выделенных стратон в верхнедокембрийском разрезе, метатерригенные толщи, представленные (снизу вверх) пуйвинской, хобеинской и нижней подсвитой мороинской свиты, залегают ниже существенно карбонатной верхней подсвиты мороинской свиты, которая, в свою очередь, наращивается вулканогенной саблегорской свитой. На Полярном Урале метатерригенная няровейская серия также залегает ниже известковистых отложений немурюганской свиты (Государственная..., 2014). На Пай-Хое терригенная сокольниковская свита и карбонатно-терригенная амдерминская свита, судя по данным Sr-изотопной стратиграфии, древнее существенно карбонатной морозовской свиты (Кузнецов и др., 2016). На Северном Урале в Иширском антиклинории карбонатные отложения мойвинской свиты подстилаются сланцами расьинской свиты и перекрываются терригенными образованиями муравьинской, ишеримской и велсовской свит.

На п-ве Канин метатерригенные толщи микулкинской, табуевской и тархановской серий пространственно разобщены с доломитами мысов Лудоватых. Их стратиграфические связи остаются неясными (Оловянишников, 1998).

На Тимане взаимоотношения карбонатных и терригенных отложений установлены на р. Покъю. Здесь на толще известняков и доломитов с прослоями серицит-хлоритовых и биотит-хлоритовых сланцев быстринской серии залегают преимущественно песчано-алевритистые отложения покъюской и лунвожской свит вымской серии (Оловянишников, 1998). Отложения вымской серии, по мнению автора, по возрасту коррелируются с четласской серией. Приведенные выше результаты U-Pb-датирования детритовых зерен циркона и рутила из пород этих серий также указывают на возможность их возрастной корреляции, а находки на Четласском поднятии остатков и следов вендских мягкотелых организмов в визингской и устьпалевской свитах (Паньков, 2025) — на относительно молодой (позднерифейско-вендский) возраст отложений.

На Южном Тимане ышкемеская и ваполская свиты, сложенные в основном доломитами, по палеонтологическим данным, относятся в верхнему рифею (Опаренкова, Иванов, 1999). Терригенные отложения джежимской свиты, судя по наличию в них ископаемых остатков организмов эдиакарского типа (Колесников и др., 2023), занимают более высокое стратиграфическое положение.

Анализ возрастных спектров dZr из верхнедокембрийских терригенных отложений Приполярного Урала, включая пуйвинскую и хобеинскую свиты, а также терригенную часть мороинской свиты, показывает их сходность с возрастными спектрами dZr из отложений верхнего докембрия п-ва Канин, Северного и Среднего Тимана (за исключением Обдырского поднятия), Северного Урала (хр. Кваркуш) (рис. 7, b–m, q). Общим для большинства верхнедокембрийских терригенных толщ перечисленных районов является преобладание dZr с датировками, отвечающими концу раннего протерозоя, раннему-среднему рифею и концу позднего рифея (1900–900 млн лет) с концентрацией возрастных значений в интервалах 1900–1750, 1550–1475, 1355–1330, 1250–1135 млн лет. Зерна циркона с более древними датировками представлены, как правило, в единичных экземплярах.

Совершенно иной характер распределения возрастных спектров dZr установлен для обдырской серии Среднего Тимана и джежимской свиты Южного Тимана (рис. 7, n–p). Этим стратонам свойственно резкое преобладание dZr с позднерифейскими и раннепротерозойскими датировками с концентрацией возрастных значений в интервалах 2800–2500 и 2100–1800 млн лет.

Причиной принципиально различного распределения датировок dZr в верхнедокембрийских толщах Тимано-Североуральского региона может служить поступление обломочного материала из разных источников сноса: преимущественно скандинавских в первом случае и преимущественно древних комплексов кристаллического фундамента Волго-Уралии и Сарматии во втором (Соболева и др., 2026). Определенной проблемой при принятии этой точки зрения является очень близкое расположение на Среднем Тимане Обдырского, Четласского и Вымского поднятий (несколько десятков км) с разным распределением возрастных спектров dZr в породах обдырской серии с одной стороны и четласской и вымской серий с другой.

Альтернативным представлением о возможных источниках сноса кластики в позднедокембрийский бассейн осадконакопления может быть следующее. Обломочный материал мог поступать с орогенов, спавших отдельные фрагменты Волго-Уралии в конце позднего протерозоя. На Южном Урале к подобным образованиям относится Тараташский ороген (Кузнецов и др., 2017). В Тимано-Североуральском регионе фрагментами таких орогенов могут быть нижнедокембрийские полиметаморфические комплексы севера Урала и п-ва Канин. Специальное рассмотрение вопросов геохронологической истории метаморфических комплексов уральского докембрия показывает, что в этих образованиях высокотемпературные метаморфические процессы, с которыми может быть связана кристаллизация нескольких возрастных популяций зерен циркона или нарушение в этом минерале

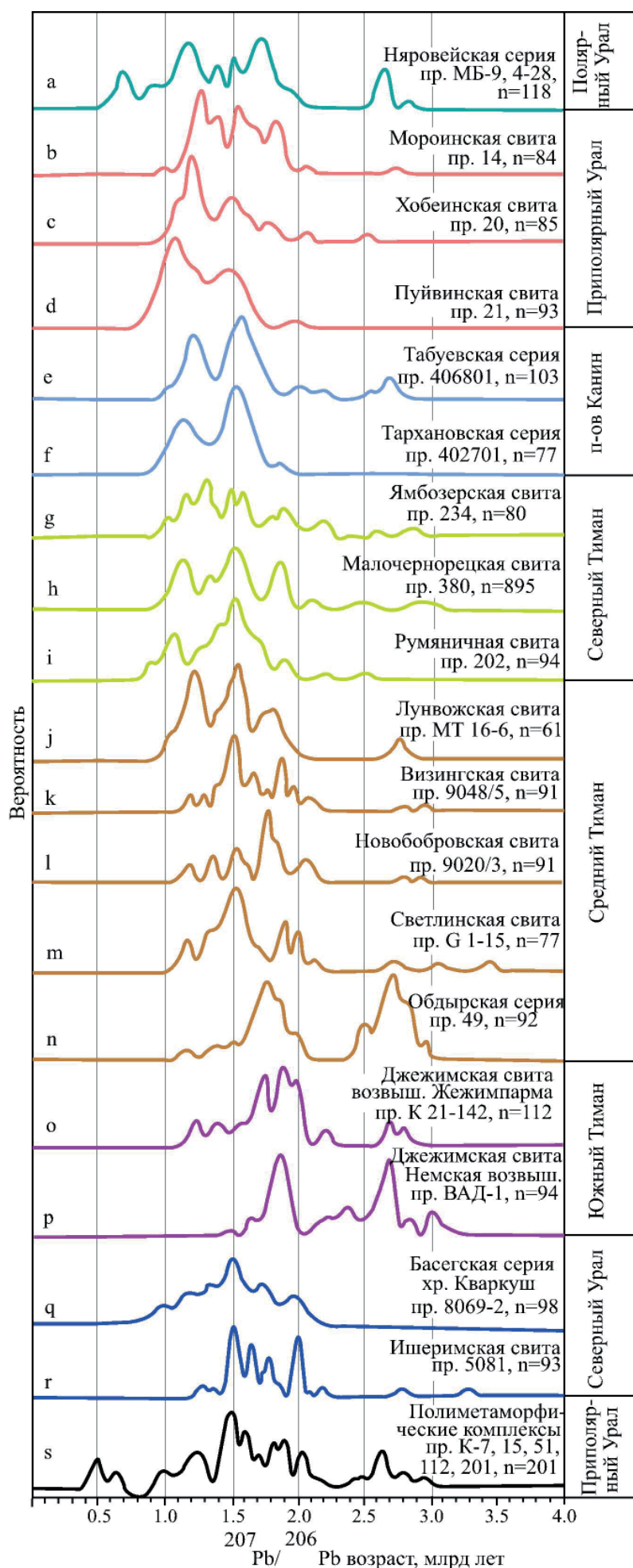


Рис. 7. Нормированные кривые плотности вероятности возраста зерен dZr из верхнедокембрийских терригенных пород Тимано-Североуральского региона (a–r) и полиметаморфических комплексов Приполярного Урала (s).

Источники: пр. МБ-9 — А. М. Пыстин и др. (2024); пр. 4-28 — Н. С. Уляшева и др. (2019); пр. 14, 21 — А. М. Пыстин и др. (2022); пр. 20 — К. С. Попвасев и др. (2024); пр. 406801, 402701 — А. А. Соболева и др. (2024); пр. 234, 380, 202 — В. Л. Андреичев и др. (2018); пр. МТ 16-6 — А. А. Соболева и др. (2019); пр. 9048/5, 9020/3 — Е. А. Brustnitsyna et al. (2022); пр. G 1-15 — О. В. Удоратина и др. (2017); пр. 49 — А. А. Соболева и др. (2024); пр. К 21-142 — И. В. Латышева и др. (2022); пр. ВАД-1 — О. В. Гракова и др. (2024); пр. 8069-2 — А. А. Соболева и др. (2026a); пр. 5081 — Г. А. Петров и др. (2015); пр. К-7 — Ю. И. Пыстина и др. (2019); пр. 15 — А. М. Пыстин, Ю. И. Пыстина (2019); пр. 51 — А. М. Пыстин, Ю. И. Пыстина (2019); пр. 12, 201 — А. М. Пыстин и др. (2019)

Fig. 7. Normalized probability density curves of the age of grains dZr from Upper Precambrian terrigenous rocks of the Timan-Northern Ural region (a–r) and polymetamorphic complexes of the Subpolar Urals (s).

Sources: sample MB-9 — A. M. Pystin et al. (2024); sample 4-28 — N. S. Ulyasheva et al. (2019); samples 14, 21 — A. M. Pystin et al. (2022); sample 20 — K. S. Popvasev et al. (2024); samples 406801, 402701 — A. A. Soboleva et al. (2024); samples 234, 380, 202 — V. L. Andreichev et al. (2018); sample MT 16-6 — A. A. Soboleva et al. (2019); samples 9048/5, 9020/3 — E. A. Brustnitsyna et al. (2022); sample G 1-15 — O. V. Udoratina et al. (2017); sample 49 — A. A. Soboleva et al. (2024); sample K 21-142 — I. V. Latysheva et al. (2022); sample ВАД-1 — O. V. Grakova et al. (2024); sample 8069-2 — A. A. Soboleva et al. (2026a); sample 5081 — G. A. Petrov et al. (2015); sample K-7 — Yu. I. Pystina et al. (2019); sample 15 — A. M. Pystin, Yu. I. Pystina (2019); sample 51 — A. M. Pystin, Yu. I. Pystina (2019); samples 12, 201 — A. M. Pystin et al. (2019)

изотопных соотношений U, Th и Pb, проявлялись многократно (Пыстина, Пыстин, 2002 и ссылки в этой работе). На рис. 7, с, где показан возрастной спектр цирконов из полиметаморфических образований Приполярного Урала, видно, что в них присутствуют практически все возрастные популяции этого минерала, встречающиеся в позднедокембрийских толщах севера Урала и Канино-Тиманской гряды, а также частично связанные с коллизионным этапом тиманид и с ранними этапами развития уралид. Если предположить, что полиметаморфические образования Тимано-Североуральской окраины Волго-Уралии (и в дальнейшем Балтики) были одними из основных источников обломочного материала при формировании позднедокембрийского разреза этого региона, то наблюдаемые различия возрастных спектров можно объяснить различной степенью эродированности кристаллических комплексов. Вероятно, обдырская серия и джежимская свита с наиболее древними dZr в сравнении с другими рассмотренными в статье стратонами формировалась позднее при размыве более глубоких уровней кристаллического фундамента.

Схожесть возрастных спектров dZr из верхнедокембрийских терригенных отложений Северного и Приполярного Урала с преобладающими спектрами dZr из соответствующих стратонов Канино-Тиманской гряды может указывать на то, что они формировались на одной континентальной окраине в одном бассейне осадконакопления из одних и тех же источников сноса. Из этого следует, что северо-восточная граница пассивной континентальной окраины Балтики в позднерифее и раннем (?) венде простиралась на северо-восток (в современных координатах) за пределы Кожимского поднятия Приполярного Урала.

Для определения нижнего возрастного рубежа позднедокембрийских толщ северо-восточной пассивной континентальной окраины Балтики (на отрезке от п-ва Канин до Северного Урала) опорным является геологический разрез Ляпинского антиклинория Приполярного Урала, где вскрывается их нижняя граница. Приведенные выше данные свидетельствуют, что накопление осадочных толщ в позднем докембрии в этой части Приполярного Урала началось около 750 млн лет назад. На п-ве Канин, где, по-видимому, базальным стратоном является тархановская серия (минимальный U-Pb-возраст dZr — 989 ± 56 млн лет), начало формирования позднедокембрийского разреза также относится к позднему рифею, но для более точной оценки нижней возрастной границы данных пока недостаточно; отложения могут быть значительно моложе. В остальных районах Канино-Тиманской гряды и на Северном Урале во всех обнаженных на поверхности разрезах верхнего докембрия возраст пород поздне-рифейский и вендский. Отсутствие данных о нижней границе верхнедокембрийских толщ в этих районах допускает возможность наличия в их составе допозднерифейских отложений, однако более вероятным является предположение, что в пределах всей рассмотренной в статье северо-восточной окраины Балтики накопление осадочных толщ в позднем докембрии началось в позднерифейское время, скорее всего с рубежа около 800–750 млн лет назад. В пользу такой оценки, наряду с данными по возрасту пуйвинской свиты на Приполярном Урале, свидетельствуют миньярский

и более молодой возраст карбонатных толщ на Тимане и севере Урала и наличие в ряде верхнедокембрийских терригенных стратонов Тимана остатков и следов вендских мягкотелых организмов.

Возрастной спектр dZr из няровейской серии Полярного Урала в целом сопоставим с возрастными спектрами dZr из верхнедокембрийских терригенных толщ северной части Канино-Тиманской гряды, Приполярного Урала и хр. Кваркуш на Северном Урале. Но он отличается наличием двух нехарактерных для основной части стратонов тимано-североуральского верхнего докембрия возрастных пиков dZr: позднеархейского (главный максимум 2700 млн лет) и особенно позднерифейского (главный максимум 700 млн лет). Это, вероятно, связано с участием в формировании няровейской серии проксимальных источников сноса, сохранившимися фрагментами которых могут быть полиметаморфические комплексы Полярного Урала: харбейский, марункеуский и малыкский.

Заключение

В основании позднедокембрийского разреза Ляпинского антиклинория залегает пуйвинская свита. На основании результатов U-Pb (LA-ICP-MS)-датирования dZr установлено, что она имеет поздне-рифейский или более молодой возраст. Нижняя возрастная граница свиты оценивается значением около 750 млн лет назад. За верхний возрастной рубеж свиты принимается U-Pb (LA-ICP-MS)-определение магматического циркона из кислых метавулканитов, согласно залегающих в ее средней и верхней частях (около 650 млн лет). Венчает верхнедокембрийский разрез этого района поздневендско-раннекембрийская лаптоайская свита.

Возрастная корреляция и сопоставимость возрастных спектров dZr позднедокембрийских терригенных (и метатерригенных) отложений Ляпинского антиклинория Приполярного Урала, Кваркушско-Каменногорского антиклинория Северного Урала, Четласского и Вымского поднятий Среднего Тимана, Северного Тимана и п-ва Канин дают основание предполагать, что все они формировались в одном бассейне осадконакопления за счет одних и тех же источников сноса обломочного материала. Время их накопления ограничивается интервалом «поздний рифей – венд», возможно, с выходом в ранний кембрий. Вероятное начало осадконакопления верхнедокембрийского разреза условно ограничивается значением 800 млн лет назад.

В качестве возможных источников сноса кластики предполагаются древние кристаллические образования Волго-Уралии и спаявшие их нижнепротерозойские орогены, фрагменты которых представлены на современном эрозионном срезе полиметаморфическими комплексами севера Урала и п-ва Канин.

Отсутствие в позднедокембрийском разрезе Канино-Тиманской гряды и севера Урала ниже- и средне-рифейских отложений может быть объяснено высоким стоянием этой территории в допозднерифейское время и нахождением ее во внутренней части фрагмента суперконтинента Нуна/Колумбия, избежавшего деформации вплоть до вхождения Балтики в Родинию.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 25–27–00412.



Литература / References

- Андреичев В. Л., Соболева А. А., Хубанов В. Б., Соболев И. Д. U-Pb (LA-ICP-MS)-возраст детритовых цирконов из метасадочных пород основания верхнедокембрийского разреза Северного Тимана // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2018. Т. 93, вып. 2. С. 14–26.
- Andreichev V. L., Soboleva A. A., Khubanov V. B., Sobolev I. D. U-Pb (LA-ICP-MS) age of detrital zircons from metasedimentary rocks of the base of the Upper Precambrian section of Northern Timan. Bull. MOIP Geol. Ser. 2018;93(2):14–26. Russian.
- Вовчина Т. А., Соболева А. А. Результаты U-Pb (SIMS)-датирования циркона из позднерифейских плагиогранит-порфиров Северо-Западного Пай-Хоя // Известия Коми НЦ УрО РАН. Науки о Земле. 2020. № 1. С. 88–95. DOI:10.19110/1994-5655-2020-1-88-95
- Vovchina T. A., Soboleva A. A. Results of U-Pb (SIMS) dating of zircon from late Riphean plagiogranite porphyry of North-Western Pai-Khoi. Proc. Komi Sci. Cent. Ural Branch RAS Earth Sci. Ser. 2020;(1):88–95. Russian.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000. Лист Q-40, 41 – Воркута. Объяснительная записка / Н. Г. Берлянд, В. М. Богомазов, Г. В. Важенин и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. 342 с.
- Berlyand N. G., Bogomazov V. M., Vazhenin G. V. et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000. Sheet Q-40, 41 – Vorkuta. Explanatory Note. St. Petersburg: VSEGEI; 2001. 342 p. Russian.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000. Лист Q-41 – Воркута. Объяснительная записка / М. А. Шишкин, А. П. Астахов, Н. В. Кабатов и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 541 с.
- Shishkin M. A., Astakhov A. P., Kabatov N. V. et al. State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1,000,000. Sheet Q-41 – Vorkuta. Explanatory Note. St. Petersburg: VSEGEI; 2007. 541 p. Russian.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Лист Q-41-XXV. Объяснительная записка / В. Н. Иванов, Т. Б. Жаркова, И. Ю. Курзанов и др. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 252 с.
- Ivanov V. N., Zharkova T. B., Kurzanov I. Yu. et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. Sheet Q-41-XXV. Explanatory Note. Moscow: MB VSEGEI; 2013. 252 p. Russian.
- Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1: 200 000. Лист Q-42-VII, VIII. Объяснительная записка / В. А. Душин, О. П. Сердюкова, А. А. Малюгин и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 384 с.
- Dushin V. A., Serdyukova O. P., Malyugin A. A. et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. Sheet Q-42-VII, VIII. Explanatory Note. St. Petersburg: VSEGEI; 2014. 384 p. Russian.
- Гракова О. В., Никулова Н. Ю., Хубанов В. Б. U/Pb-возраст и источники сноса обломочного циркона из верхнерифейских песчаников Немской возвышенности (Южный Тиман) // Известия Коми НЦ УрО РАН. Науки о Земле. 2024. № 3 (69). С. 76–86. DOI:10.19110/1994-5655-2024-3-76-86
- Grakova O. V., Nikulova N. Yu., Khubanov V. B. U/Pb age and provenances of detrital zircon from Upper Riphean sandstones of the Nemskaia Upland (Southern Timan). Proc Komi Sci Cent Ural Branch RAS Earth Sci Ser. 2024;(3):76–86. Russian.
- Канева Т. А., Удоратина О. В., Старикова Е. В., Хубанов В. Б. Оценка нижнего возрастного предела неопротерозойской сокольнинской свиты Северо-Западного Пай-Хоя на основе U-Pb-датирования детритных цирконов // Бюл. МОИП. Отд. геол., 2015. Т. 90, вып. 6. С. 3–10.
- Kaneva T. A., Udoratina O. V., Starikova E. V., Khubanov V. B. Estimation of the lower age limit of the Neoproterozoic Sokolninskaya suite of North-Western Pai-Khoi based on U-Pb dating of detrital zircons. Bull. MOIP Geol. Ser. 2015;90(6):3–10. Russian.
- Колесников А. В., Латышева И. В., Шаццлло А. В. и др. Биота эдиакарского типа в верхнем докембрии Тиманского кряжа (возвышенность Джежим-Парма, Республика Коми) // Докл. РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 510, № 1. С. 61–65. DOI: 10.31857/S2686739722602964
- Kolesnikov A. V., Latysheva I. V., Shatsillo A. V. et al. Ediacara-type biota in the Upper Precambrian of Timan Range (Dzhezhim-Parma hill, the Komi Republic). Dokl Earth Sci. 2023;510(1):289–292. DOI:10.1134/S1028334X23600032.
- Костюченко С. Л., Морозов А. Ф., Креницкий А. А. Тиман-Урало-Пайхойская коллизионная область: строение, эволюция, геодинамика. Результаты комплексных геолого-геофизических исследований. М.: Геокарт-ГЕОС, 2012. 210 с.
- Kostyuchenko S. L., Morozov A. F., Kremenitsky A. A. Timan-Ural-Paikhoi collision region: structure, evolution, geodynamics. The results of complex geological and geophysical studies. Moscow: Geokart-GEOS; 2012. 210 p. Russian.
- Кузнецов А. Б., Старикова Е. В., Маслов А. В., Константинова Г. В. Sr-изотопная хемотратиграфия докембрийских карбонатных пород Амдерминского поднятия, Пай-Хой // Докл. РАН, 2016. Т. 469. № 4. С. 447–451. DOI: 10.7868/S0869565216220199
- Kuznetsov A. B., Starikova E. V., Maslov A. V., Konstantinova G. V., Maslov A. V. Sr isotopic chemostratigraphy of Precambrian carbonate rocks in the Amderma Rise, Pai-Khoi Ridge. Dokl Earth Sci. 2016;469(2):777–781. DOI:10.1134/S1028334X16080055.
- Кузнецов А. Б., Цыбульская А. Е., Зархидзе Д. В., Гаврилова А. А. Позднерифейский возраст карбонатных пород мойвинской свиты, Ишеримская зона Северного Урала: стронциевая изотопная стратиграфия // Тиманиды-протоуралиты Европейского Северо-Востока: стратиграфия, магматизм, геодинамика, металлогения: Материалы российской конференции. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2026. С. 37–38.
- Kuznetsov A. B., Tsybul'skaya A. E., Zarkhidze D. V., Gavrilova A. A. Late Riphean age of carbonate rocks of the Moyva Formation, Isherim zone of the Northern Urals: strontium isotope stratigraphy. In: Timanides-Proto-Uralides of the European North-East: stratigraphy, magmatism, geodynamics, metallogeny. Proc Russian Conf. Syktyvkar: IG Komi Sci Cent Ural Branch RAS; 2026. p. 37–38. Russian.
- Кузнецов Н. Б., Натопов Л. М., Белоусова Е. А. Результаты изучения детритных цирконов из вендских песчаников поднятия Енганэ-Пэ (запад Полярного Урала) // Геологический сборник № 7. Уфа, 2008. С. 54–67.
- Kuznetsov N. B., Natapov L. M., Belousova E. A. Results of the study of detrital zircons from Vendian sandstones

- of the Engane-Pe uplift (western Polar Urals): testing ideas about the primary tectonic affiliation of the Proto-Uralides-Timanides. In: Geological collection No. 7. Information materials of the IG USC RAS. Ufa; 2008. p. 54–67. Russian.
- Кузнецов Н. Б., Натапов Л. М., Белоусова Е. А. и др. Первые результаты изотопного датирования детритовых цирконов из кластогенных пород комплексов протоуралид-тиманид // Докл. РАН. 2009. Т. 424, № 3. С. 363–368.
- Kuznetsov N. B., Natapov L. M., Belousova E. A. et al. First results of isotopic dating of detrital zircons from the clastic rocks of the Pre-Uralides-Timanides complexes: contribution in the late precambrian stratigraphy of the Enganepe Uplift, Western Polar Urals. Dokl Earth Sci. 2009;426(1):567–573. DOI:10.1134/S1028334X09040138.
- Кузнецов Н. Б., Натапов Л. М., Белоусова Е. А. и др. Первые результаты U/Pb-датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедокембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма) // Докл. АН. 2010. Т. 435. № 6. С. 798–805. DOI: 10.7868/S086956521724013
- Kuznetsov N. B., Natapov L. M., Belousova E. A. The first results of U/Pb dating and isotope geochemical studies of detrital zircons from the Neoproterozoic sandstones of the Southern Timan (Djejim-Parma Hill). Dokl. Earth Sci. 2010;435(2):1676–1683. DOI:10.1134/S1028334X10120263.
- Кузнецов Н. Б., Белоусова Е. А., Романюк Т. В. и др. Первые результаты U-Pb-датирования детритовых цирконов из среднерифейских песчаников зигальгинской свиты (Южный Урал) // Докл. РАН. 2017. Т. 475. № 6. С. 659–664. DOI: 10.7868/S0869565217240136
- Kuznetsov N. B., Degtyarev K. E., Romanyuk T. V. et al. First results of U/Pb dating of detrital zircons from Middle Riphean sandstones of the Zigalga Formation, South Urals. Dokl Earth Sci. 2017;475(2):863–867. DOI:10.1134/S1028334X17080244.
- Латышева И. В., Кузнецов Н. Б., Шацилло А. В. и др. U-Pb-возраст зерен детритового циркона из обломочных пород джежимской свиты (верхний докембрий Южного Тимана) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса от океана к континенту. Вып. 20. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2022. С. 166–169.
- Latysheva I. V., Kuznetsov N. B., Shatsillo A. V. et al. U-Pb age of detrital zircon grains from clastic rocks of the Dzhezhim Formation (Upper Precambrian of Southern Timan). In: Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt from the ocean to the continent. Proc Sci Conf. Iss. 20. Irkutsk: Institute of the Earth Crust SB RAS; 2022. p. 166–169. Russian.
- Нечеухин В. М., Душин В. А., Оловянишников В. Г. Палеогеодинамические ассоциации и тектоно-магматические элементы Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, УГТУ, 2009. 158 с.
- Necheukhin V. M., Dushin V. A., Olovyanishnikov V. G. Paleogeodynamic associations and tectono-magmatic elements of the Ural-Timan-Paleo-Asian segment of Eurasia. Explanatory note to the Geodynamic map of the Ural-Timan-Paleo-Asian segment of Eurasia, scale 1:2,500,000. Yekaterinburg: UB RAS, USMU; 2009. 158 p. Russian.
- Оловянишников В. Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 164 с.
- Olovyanishnikov V. G. Upper Precambrian of Timan and the Kanin Peninsula. Yekaterinburg: UB RAS; 1998. 164 p. Russian.
- Опаренкова Л. И., Иванов Н. Ф. Легенда Тиманской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200000 (издание второе) / Ред. В. Г. Колокольцев. Ухта, 1999.
- Oparenkova L. I., Ivanov N. F. Legend of the Timan series of sheets of the State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1:200,000. 2nd ed. Kolokoltsev V. G., editor. Ukhta; 1999. Russian.
- Паньков В. Н., Колесников А. В., Панькова В. А. и др. Вендские макрофоссилии четласской и быстринской серий Тимана // Фундаментальные основы палеонтологии: теория и практика. СПб.: Институт Карпинского, 2025. С. 118–120.
- Pankov V. N., Kolesnikov A. V., Pankova V. A. et al. Vendian macrofossils of the Chetlas and Bystrinskaya series of Timan. In: Fundamental foundations of paleontology: theory and practice. Proc LXXI Session Paleontol Soc. Russ Acad Sci. St. Petersburg: Karpinsky Institute; 2025. p. 118–120. Russian.
- Петров Г. А., Ронкин Ю. Л., Гердес А., Маслов А. В. Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS-датирования обломочных цирконов из метапесчаников Ишеримского антиклинория (Северный Урал) // Докл. РАН. 2015. Т. 464, № 5. С. 589–593. DOI: 10.7868/S0869565215180206
- Petrov G. A., Ronkin Y. L., Maslov A. V., Gerdes A. First results of U-Pb dating of detrital zircons from metasandstones of the Isherim Anticlinorium (North Urals). Dokl Earth Sci. 2015;464(2):1010–1014. DOI:10.1134/S1028334X15100165.
- Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Puchkov V. N. Geology of the Urals and the Cis-Urals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa: DesignPoligrafService; 2010. 280 p. Russian.
- Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Структура, метаморфизм и возраст докембрийских образований полуострова Канин и Северного Тимана // Проблемы геологии и минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 176–195.
- Pystin A. M., Pystina Yu. I. Structure, metamorphism and age of Precambrian formations of the Kanin Peninsula and Northern Timan. In: Problems of Geology and Mineralogy. Syktyvkar: Geoprint; 2006. p. 176–195. Russian.
- Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско-раннепалеозойской истории формирования Приполярноуральского сегмента земной коры // Литосфера. 2008. № 8. С. 25–38.
- Pystin A. M., Pystina Yu. I. Metamorphism and granite formation in the Proterozoic-Early Paleozoic history of the formation of the Polar Ural segment of the earth's crust. Litosfera. 2008;(8):25–38. Russian.
- Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Базальные отложения верхнего докембрия в Тимано-Североуральском регионе // Литосфера. 2014. № 3. С. 41–50.
- Pystin A. M., Pystina Yu. I. Basal sediments of the Upper Precambrian in the Timan-Northern Urals region. Litosfera. 2014;(3):41–50. Russian.
- Пыстин А. М., Пыстина Ю. И., Хубанов В. Б. Первые результаты U-Pb-датирования детритовых цирконов из базальных отложений верхнего докембрия Приполярного



- Урала // Докл. РАН. 2019. Т. 488, № 2. С. 172–175. DOI: 10.31857/S0869-56524882172-175
- Pystin A. M., Pystina Y. I., Khubanov V. B. First results of U-Pb dating of detrital zircons from the Upper Precambrian basal deposits of the Subpolar Urals. Dokl Earth Sci. 2019;488(1):1031–1034. DOI:10.1134/S1028334X19090198.
- Пыстин А. М., Пыстина Ю. И. Докембрий Приполярного Урала: хроностратиграфический аспект // Труды Карельского НЦ РАН. Геология докембрия. 2019. № 2. С. 34–52. DOI:10.17076/geo904
- Pystin A. M., Pystina Yu. I. Precambrian of the Subpolar Urals: chronostratigraphic aspect. Proc Karelian Sci Cent Russ Acad. Sci. Precambrian Geol. 2019;(2):34–52. Russian.
- Пыстин А. М. Геологическое наследие Б. А. Голдина // Вестник геонаук. 2021. № 12. С. 51–60. DOI:10.19110/geov. 2021. 12.6
- Pystin A. M. Geological legacy of B. A. Goldin. Vestnik of Geosciences. 2021;(12):51–60. Russian.
- Пыстин А. М., Гракова О. В., Пыстина Ю. И. и др. U-Pb (LA-SF-ICP-MS)-возраст и вероятные источники сноса детритовых цирконов из терригенных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала // Литосфера. 2022. № 6. С. 741–760. DOI:10.24930/1681-9004-2022-22-6-741-760
- Pystin A. M., Grakova O. V., Pystina Yu. I. et al. U-Pb (LA-SF-ICP-MS) age and probable provenances of detrital zircons from Upper Precambrian terrigenous deposits of the Subpolar Urals. Litosfera. 2022;(6):741–760. Russian.
- Пыстин А. М., Гракова О. В., Пыстина Ю. И. и др. Возрастные ограничения базальных образований верхнедокембрийского разреза Полярного Урала по результатам U-Pb (LA-ICP-MS)-датирования циркона // Докл. РАН. Науки о Земле, 2024. Т. 514, № 1. С. 5–10. DOI: 10.31857/S2686739724010019
- Pystin A. M., Grakova O. V., Pystina Yu. I. et al. Age boundary of the Upper Precambrian basal rocks of the Polar Urals: results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of zircon. Dokl Earth Sci. 2024;514(1):1–4. DOI:10.1134/s1028334x2360247x
- Пыстин А. М., Пыстина Ю. И., Гракова О. В., Хубанов В. Б. Первые результаты U-Pb (LA-ICP-MS)-датирования кислых вулканитов из базальных горизонтов верхнего докембрия Приполярного Урала // Докл. РАН. Науки о Земле, 2025. Т. 524, № 2. С. 25–31. DOI: 10.7868/S3034506525100036
- Pystin A. M., Pystina Yu. I., Grakova O. V., Khubanov V. B. First results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of acidic volcanic rocks from basal horizons of the Upper Precambrian of the Subpolar Urals. Dokl Earth Sci. 2025;524(2):1–6. DOI:10.1134/S1028334X2560714X.
- Пыстина Ю. И., Пыстин А. М. Цирконовая летопись уральского докембрия. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 167 с.
- Pystina Yu. I., Pystin A. M. Zircon Chronicle of the Ural Precambrian. Yekaterinburg: UB RAS; 2002. 167 p. Russian.
- Пыстина Ю. И., Пыстин А. М., Хубанов В. Б. Нижний докембрий в структуре палеозойда на Приполярном Урале // Докл. РАН. 2019. Т. 486, № 5. С. 572–576. DOI: 10.31857/S0869-56524865572-576
- Pystina Y. I., Pystin A. M., Khubanov V. B. The Lower Precambrian in the structure of Paleozooids of the Subpolar Urals. Dokl Earth Sci. 2019;486(2):609–612. DOI:10.1134/S1028334X19060199.
- Рифей и венд Европейского Севера СССР / Редакторы: В. А. Дедеев, В. Г. Гецен. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1987. 124 с.
- Riphean and Vendian of the European North of the USSR. Dedeev V. A., Getsen V. G., editors. Syktyvkar: Komi Branch AS of the USSR; 1987. 124 p. Russian.
- Ронкин Ю. Л. Изотопы стронция — индикаторы эволюции магматизма Урала. Ежегодник-1988 / ИГиГ УрО АН СССР. Екатеринбург, 1989. С. 107–109.
- Ronkin Yu. L. Strontium isotopes — indicators of the evolution of magmatism in the Urals. Yearbook — 1988. Institute of Geology and Geophysics, UB AS of the USSR. Yekaterinburg; 1989. p. 107–109. Russian.
- Семихатов М. А., Кузнецов А. Б., Чумаков Н. М. Изотопный возраст границ общих стратиграфических подразделений верхнего протерозоя (рифей и венда) России // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 2015. Т. 23, № 6. С. 16–27. DOI: 10.7868/S0869592X15060083
- Semikhatov M. A., Chumakov N. M., Kuznetsov A. B. Isotope age of boundaries between the general stratigraphic subdivisions of the Upper Proterozoic (Riphean and Vendian) in Russia: the evolution of opinions and the current estimate. Stratigr Geol Correl. 2015;23(6):568–579. DOI: 10.1134/S0869593815060088.
- Сергеева Н. Д., Пучков В. Н. Региональная стратиграфическая схема отложений верхнего и завершающего рифей и венда Южного Урала (ПРОЕКТ 2022) // Геологический вестник. 2022. № 2. С. 3–14. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-2-1
- Sergeeva N. D., Puchkov V. N. Regional stratigraphic scheme of the Upper and Final Riphean and Vendian deposits of the Southern Urals (PROJECT 2022). Geol Vestn. 2022;(2):3–14. Russian.
- Сеславинский К. Б. Скорости осадконакопления и состав отложений. Статья 2 // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1984. Т. 59, вып. 3. С. 22–31.
- Seslavinsky K. B. Sedimentation rates and sediment composition. Article 2. Bull MOIP Geol Ser. 1984;59(3):22–31. Russian.
- Соболева А. А., Куликова К. В., Моргунова А. А., Безинова Л. В. Фрагменты доуральской истории поднятия Енганепэ (Полярный Урал) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2008. № 4. С. 7–14.
- Soboleva A. A., Kulikova K. V., Morgunova A. A., Bezinova L. V. Fragments of the Pre-Ural history of the Enganepe uplift (Polar Urals). Vestnik IG Komi Sci. Cent. Ural Branch RAS. 2008;(4):7–14. Russian.
- Соболева А. А., Карчевский А. Ф., Ефанова Л. И. и др. Свидетельства позднерифейского гранитообразования на территории Полярного Урала // Докл. РАН. 2012. Т. 442, № 4. С. 524–530.
- Soboleva A. A., Karchevskii A. F., Efanova L. I. et al. Evidence for Late Riphean granite formation in the Polar Urals. Dokl Earth Sci. 2012;442(2):181–187. DOI:10.1134/S1028334X12020080.
- Соболева А. А., Удоратина О. В., Кузнецов Н. Б. и др. Возраст покровной фации // От минералогии до геохимии. Крым, с. Береговое, 2013. С. 192–194.
- Soboleva A. A., Udoratina O. V., Kuznetsov N. B. et al. Age of the cover facies. In: From mineralogy to geochemistry. Proc Int Sci Conf. Crimea, Beregovoe village; 2013. p. 192–194. Russian.
- Соболева А. А., Андреичев В. Л., Бурцев И. Н. и др. Детритовые цирконы из верхнедокембрийских пород вымской



- серии Среднего Тимана (U-Pb-возраст и источники сноса) // Бюлл. МОИП. Отд. геол., 2019. Т. 94, вып. 1. С. 3–16.
- Soboleva A. A., Andreichev V. L., Burtsev I. N. et al. Detrital zircons from Upper Precambrian rocks of the Vym Group of the Middle Timan (U-Pb age and provenances). Bull. MOIP Geol. Ser. 2019;94(1):3–16. Russian.
- Соболева А. А., Андреичев В. Л., Хубанов В. Б., Зархидзе Д. В. U-Pb (LA-ICP-MS)-возраст детритовых цирконов из верхнедокембрийских отложений полуострова Канин // Возраст и корреляция магматических, метаморфических, осадочных и рудообразующих процессов. СПб.: ВСЕГЕИ, 2022. С. 145–147.
- Soboleva A. A., Andreichev V. L., Khubanov V. B., Zarkhidze D. V. U-Pb (LA-ICP-MS) age of detrital zircons from Upper Precambrian deposits of the Kanin Peninsula. In: Age and correlation of magmatic, metamorphic, sedimentary and ore-forming processes. Proc. VIII Russian Conf Isotope Geochronol. St. Petersburg: VSEGEI; 2022. p. 145–147. Russian.
- Соболева А. А., Андреичев В. Л., Хубанов В. Б. и др. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS)-датирования детритового циркона из верхнедокембрийских отложений южной части Тимана // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2024. Т. II. С. 97–100.
- Soboleva A. A., Andreichev V. L., Khubanov V. B. et al. Results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircon from Upper Precambrian deposits of the southern part of Timan. In: Geology and mineral resources of the European North-East of Russia. Proc. XVIII Geol Komi Republic. Vol 2. Syktyvkar: IG Komi Sci. Cent. Ural Branch RAS; 2024. p. 97–100. Russian.
- Соболева А. А., Никулова Н. Ю., Цыбульская А. Е. Возраст басегской серии хр. Кваркуш (Северный Урал) по результатам LA-ICP-MS-датирования детритовых цирконов // Тиманиды-протоуралиды Европейского Северо-Востока. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2026а. С. 93–96.
- Soboleva A. A., Nikulova N. Yu., Tsybul'skaya A. E. Age of the Basega Series of the Kvarqush Range (Northern Urals) based on LA-ICP-MS dating of detrital zircons. In: Timanides-Proto-Uralides of the European North-East: stratigraphy, magmatism, geodynamics, metallogeny. Proc Russian Conf. Syktyvkar: IG Komi Sci. Cent. Ural Branch RAS; 2026a. p. 93–96. Russian.
- Соболева А. А., Андреичев В. Л., Хубанов В. Б. Результаты U-Pb (LA-ICP-MS)-датирования детритовых цирконов из терригенных пород верхнедокембрийского фундамента Обдырского поднятия (Средний Тиман) // Известия Коми НЦ УрО РАН. Науки о Земле. 2026б. № 4 (89). С. 11–28. DOI:10.19110/1994-5655-2026-4-11-28
- Soboleva A. A., Andreichev V. L., Khubanov V. B. Results of U-Pb (LA-ICP-MS) dating of detrital zircons from terrigenous rocks of the Upper Precambrian basement of the Obdyr uplift (Middle Timan). Proc. Komi. Sci. Cent. Ural Branch RAS Earth Sci. Ser. 2026b;(4):11–28. Russian.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: Уралгеолком, 1993.
- Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic). Yekaterinburg: Uralgeolkom; 1993. Russian.
- Стратиграфический кодекс России / Л. Ш. Гиршгорн, А. И. Жаймода, О. П. Ковалевский и др. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. 92 с.
- Girshgorn L. Sh., Zhaimoda A. I., Kovalevsky O. P. et al. Stratigraphic Code of Russia. St. Petersburg: VSEGEI; 2019. 92 p. Russian.
- Удоратина О. В., Бурцев И. Н., Никулова Н. Ю., Хубанов В. Б. Возраст метапесчаников верхнедокембрийской четласской серии Среднего Тимана на основании U-Pb-датирования детритных цирконов // Бюлл. МОИП. Отд. геол., 2017. Т. 92, вып. 5. С. 15–32.
- Udoratina O. V., Burtsev I. N., Nikulova N. Yu., Khubanov V. B. Age of metasandstones of the Upper Precambrian Chetlas series of the Middle Timan based on U-Pb dating of detrital zircons. Bull. MOIP Geol. Ser. 2017;92(5):15–32. Russian.
- Удоратина О. В., Вовчина Т. А., Шуйский А. С. Редкометалльно-редкоземельные трахириолиты экзоконтакта массива Ильяз (Северный Урал): U-Pb (SIMS)-данные // Соотношение времени образования магматических формаций и рудных месторождений металлогенических провинций Евразии. М.: ИГЕМ РАН, 2025. С. 134–137.
- Udoratina O. V., Vovchina T. A., Shuysky A. S. Rare metal-rare earth trachyrhyolites of the exocontact of the Ilyaz massif (Northern Urals): U-Pb (SIMS) data. In: Relationship between the formation time of igneous formations and ore deposits of metallogenic provinces of Eurasia. Proc IX Russian Conf. Isotope Geochronol. Moscow: Institute of Geology of Ore Deposits RAS; 2025. p. 134–137. Russian.
- Уляшева Н. С., Пыстина Ю. И., Пыстин А. М. и др. Первые результаты U-Pb LA-SF-ICP-MS-датирования детритовых цирконов из среднерифейских(?) терригенных отложений Полярного Урала // Докл. РАН, 2019. Т. 485, № 4. С. 488–492. DOI: 10.31857/S0869-56524854488-492
- Ulyasheva N. S., Pystina Y. I., Pystin A. M. et al. The first results of U-Pb LA-SF-ICP-MS dating of detrital zircons from Middle Riphean (?) terrigenous deposits of the Polar Urals. Dokl. Earth Sci. 2019;485(2):386–90. DOI:10.1134/S1028334X19040081.
- Фишман М. В. Гранитоиды Приосевой зоны Приполярного Урала в связи с проблемой эволюции магматизма подвижных поясов земной коры. Сыктывкар: Коми ФАН СССР, 1971. 55 с.
- Fishman M. V. Granitoids of the Axial Zone of the Subpolar Urals in connection with the problem of the evolution of magmatism in Mobile Belts of the Earth's Crust. Syktyvkar: Komi Branch AS of the USSR; 1971. 55 p. Russian.
- Brustnitsyna E., Ershova V., Khudoley A. et al. Age and provenance of the Precambrian Middle Timan clastic succession: Constraints from detrital zircon and rutile studies. Precambrian Res. 2022. V. 371. article 106580. DOI: 10.1016/j.precamres.2022.106580
- Gee D. G., Peas V. The Neoproterozoic Nimanide Orogen of Eastern Baltica: introduction. The Neoproterozoic Nimanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society Memoirs. V. 30, 2004. p. 1–3.
- Pystin A. M., Pystina Yu. I., Ulyasheva N. S., Grakova O. V. U-Pb dating of detrital zircons from basal Post Paleoproterozoic metasediments in the Subpolar and Polar Urals: evidence for a Cryogenian, not Mesoproterozoic age. International Geology Review. 2020;62(17):2189–2202. DOI: 10.1080/00206814.2019.1689533



Тальковые сланцы нижнепалеозойской чувальской свиты в верховье р. Улс (Северный Урал)

Н. Ю. Никулова¹, Л. И. Богатырев¹, Д. В. Зархидзе¹, А. С. Шуйский²

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского,
Санкт-Петербург, Россия

Nataliya_Nikulova@karpinskyinstitute.ru

² Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

В верховье р. Улс искусственным обнажением вскрыты породы чувальской свиты среднего-верхнего ордовика. Здесь впервые описаны неизвестные ранее в чувальской свите тальковые сланцы, содержащие аномально высокие концентрации Ni (до 3320 г/т). Интервал разреза мощностью около 15 м представлен чередованием прослоев талькосодержащих сланцев, кварцевых и вулканомиктовых песчаников. Установлены особенности состава и генетической принадлежности пород, послуживших субстратом для талькосодержащих сланцев, проведено изучение петрогенных оксидов и элементов-примесей в сланцах и окружающих породах, а также морфологических особенностей и состава ряда минералов с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Интерпретация результатов химических анализов и особенностей распределения REE позволила сделать вывод о том, что талькосодержащие породы имеют метасоматическое происхождение и образованы, вероятно, в результате гидротермальных преобразований вулканогенно-осадочных пород чувальской свиты, содержащих основную вулканокластическую часть разреза чувальской свиты, могут иметь широкое площадное распространение и представлять интерес при поисках более крупных рудопроявлений.

Аномально высокие концентрации никеля, хрома и кобальта имеют стратиформный характер, приурочены к вулканогенно-осадочной части разреза чувальской свиты, могут иметь широкое площадное распространение и представлять интерес при поисках более крупных рудопроявлений.

Ключевые слова: сланцы, чувальская свита, химический состав, тальк, серпентин, хромит

Talc shales in the Lower Paleozoic Chuval Formation in the upper reaches of the Uls River (Northern Urals)

N. Yu. Nikulova¹, L. I. Bogatyrev, D. V. Zarkhidze¹, A. S. Shuisky²

¹ A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russia

² Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

In the upper reaches of the Uls River, on its right tributary, the Myka River, rocks of the Middle and Upper Ordovician Chuval Formation were exposed by artificial outcrop. Talc shales, previously unknown in the Chuval Formation, containing anomalously high Ni concentrations (up to 3320 g/t), were described for the first time here. The stratigraphic interval, approximately 15 m thick, consisted of alternating interbeds of talc-bearing schists, quartz sandstones, and volcanoclastic sandstones. To establish the compositional features and genetic affiliation of the rocks that served as a substrate for talc-containing shales, a study of the composition of petrogenic oxides and trace elements, morphological features and composition of a number of minerals was conducted using a scanning electron microscope.

Interpretation of the results of chemical analyses and the characteristics of the REE distribution allowed us to conclude that the talc-containing rocks were of metasomatic origin and had been probably formed as a result of hydrothermal transformations of the volcanogenic-sedimentary rocks of the Chuval Formation containing basic volcanoclastic material.

The abnormally high concentrations of nickel, chromium and cobalt were stratiform in nature, were confined to the volcanogenic-sedimentary part, could have a wide areal distribution and were of interest in the search for larger ore occurrences.

Keywords: shales, Chuval Formation, chemical composition, talc, serpentine, chromite

Введение

Проявления и месторождения талька известны от Южного до Полярного Урала — в Режевском, Ишановском, Джетыгоринском, Магнитогорском и Миасском районах Южного Урала, Сысертском районе Свердловской области на Среднем Урале, в северной части кря-

жа Енганепэ на Полярном Урале (Огородников и др., 2000; Спиридонов и др., 2000; Хворов, 2003; Солодкий и др., 2009; Онищенко, Соболева, 2021 и др.).

Возникновение тальковой минерализации обусловлено преобразованием магнезиальных горных пород различного генезиса. Апоультрамафитовые талькиты

Для цитирования: Никулова Н.Ю., Богатырев Л.И., Зархидзе Д.В., Шуйский А.С. Тальковые сланцы нижнепалеозойской чувальской свиты в верховье р. Улс (Северный Урал) // Вестник геонаук. 2026. 7(379). С. 21–30. DOI: 10.19110/geov.2026.7.2

For citation: Nikulova N.Yu., Bogatyrev L.I., Zarkhidze D.V., Shuisky A.S. Talc shales in the Lower Paleozoic Chuval Formation in the upper reaches of the Uls River (Northern Urals) Vestnik of Geosciences, 2026, 7(379), pp. 21–30. DOI: 10.19110/geov.2026.7.2

на контактах гипербазитов с вмещающими породами, известные в Миасском районе (Хворов, 2003) и на краях Енганепэ (Соболева, 2021 и др.), образованы под воздействием гидротермальных растворов. Апомagneзитовые и аподоломитовые тальковые сланцы, распространенные в Белорецком районе Южного Урала (Грановская, Кочергин, 2020), образованы в результате воздействия гранитоидов на магнезиальные карбонатные породы в зонах разрывных нарушений или контактов с алюмосиликатными образованиями. Тальк-хлоритовые сланцы, возникшие за счет осадочных, эффузивно-осадочных и эффузивных пород при региональном и контактовом метаморфизме, известны на Урал-Дачинском месторождении в Миасском районе, где такие сланцы образованы за счет воздействия ультраосновных пород на осадочную толщу (Романович, 1973). Тальк-карбонатные метасоматиты являются источником никеля и кобальта в приуроченных к апогарцбургитовым и аподунитовым серпентинитам медно-колчеданных месторождениях Ишкининское, Иванов-

ское и Дергамышское в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале (Артемьев, Зайков, 2009).

На Северном Урале, в верхнем течении р. Улс, на ее правом притоке — р. Мыке, в искусственном обнажении вблизи тектонического контакта с образованиями хапхарской свиты нижнего-среднего ордовика ($60^{\circ} 30' 33.5''$ с. ш., $58^{\circ} 48' 45.1''$ в. д.) вскрыт 15-метровый фрагмент разреза чувальской свиты среднего-верхнего ордовика — переслаивание тектонизированных темно-зеленых, в различной степени ожелезненных (лимонитизированных) хлорит-кварцевых, хлорит-тальковых, карбонат-тальковых сланцев и рассланцованных песчаников (рис. 1).

Основная задача проведенного исследования — всесторонняя характеристика тальк-содержащих образований, выявление особенностей их химического и минерального состава, которые могут быть использованы для поисковых целей, корреляции, определения генетической принадлежности и условий формирования отложений.

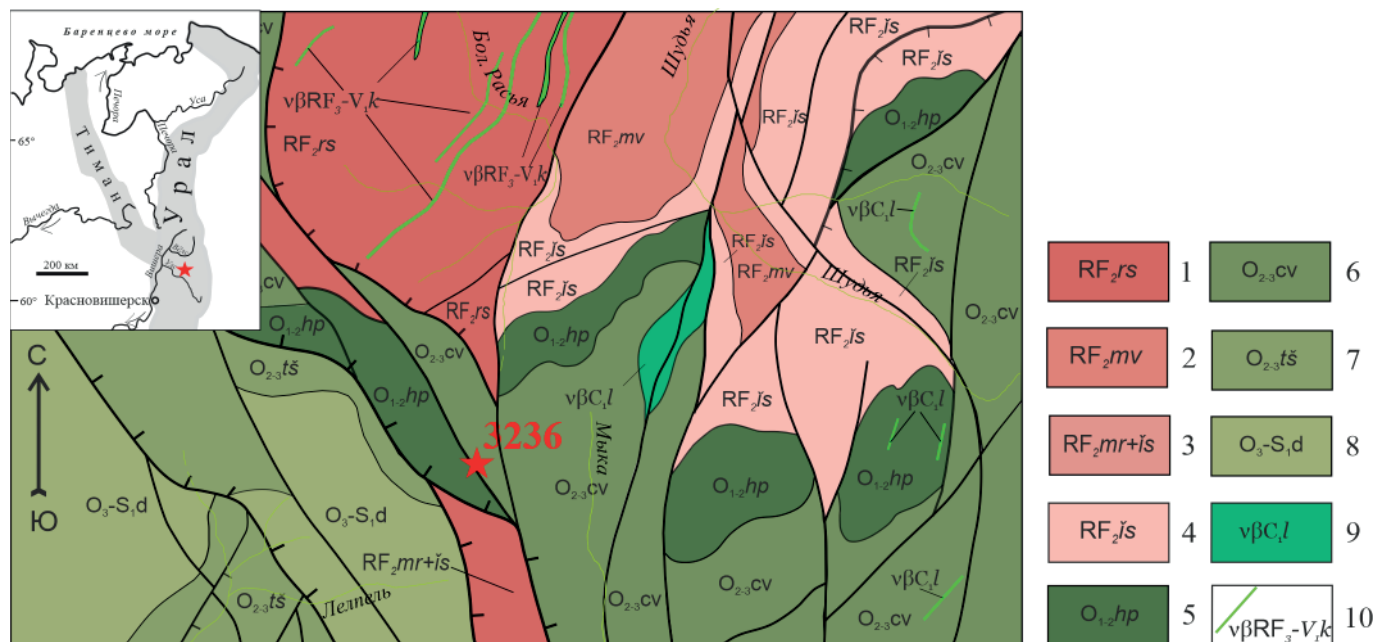


Рис. 1. Схематическая геологическая карта (по неопубликованным данным: Уткина, 2003 г.): 1–4 рифейская эратема: 1 — расыинская свита: сланцы альбит-серицит-хлорит-кварцевые графитсодержащие, кварцитопесчаники магнетитсодержащие; 2 — мойвинская свита: мраморы кальцитовые и доломитовые, сланцы хлорит-серицит-кварцевые и графит-кварцевые; 3 — муравьиная и ишеримская свиты: сланцы хлорит-серицит-кварцевые графитсодержащие, кварцитопесчаники, кварциты, известняки и доломиты мраморизованные; ишеримская свита: кварцитопесчаники, прослои титан-циркониевых гематитовых руд; 4 — ишеримская свита: кварцитопесчаники кварцевые и полевошпат-кварцевые; 5–8 — ордовикская система: 5 — хапхарская свита: конгломераты, гравелиты, песчаники, сланцы серицит-кварцевые и известковистые; 6 — чувальская свита: сланцы серицит-хлорит-кварцевые, серицит-альбит-кварцевые, прослои известняков мраморизованных, лавы базальтоидов и их туфы и туффиты; 7 — тошовская свита: глинистые известняки, редко — доломиты и глинистые сланцы; 8 — ордовикская–силурийская системы, доломитовая толща: доломиты; 9 — лыпинский комплекс габбродолеритовый гипабиссальный: дайки долеритов, габбро-долеритов; 10 — кваркушский габбро-долеритовый комплекс гипабиссальный: силлы, линзовидные тела габбро-долеритов, пикритов и пикродолеритов

Fig. 1. Schematic geological map (after Utkina, 2003): Legend: 1–4 Riphean erathema: 1 — Rasinskaya Formation: graphite-bearing albite-sericite-chlorite-quartz shales, magnetite-bearing quartzite sandstones; 2 — Moyva Formation: calcite and dolomite marbles, chlorite-sericite-quartz and graphite-quartz shales; 3 — Muravyin and Isherim Formations: graphite-bearing chlorite-sericite-quartz shales, quartzite sandstones, quartzites, marbleized limestones and dolomites; Isherimskaya Formation: quartzite sandstones, interlayers of titanium-zirconium hematite ores; 4 — Isherimskaya Formation: quartzite sandstones, quartz and feldspar-quartz; 5–8 — Ordovician system: 5 — Khapkhara Formation: conglomerates, gravelites, sandstones, sericite-quartz and calcareous shales; 6 — Chuval Formation: sericite-chlorite-quartz, sericite-albite-quartz shales, interlayers of marbled limestone, basaltoid lavas and their tuffs and tuffites; 7 — Toshov Formation: argillaceous limestones, rarely dolomites and argillaceous shales; 8 — Ordovician-Silurian systems, dolomite strata: dolomites; 9 — Lypyin gabbro-dolerite hypabyssal complex: dolerite and gabbro-dolerite dikes; 10 — Quarkush gabbro-dolerite hypabyssal complex: sills, lens-shaped bodies of gabbro-dolerite, picrite and picrodolerite



Объект и методы исследования

Образцы тальксодержащих и ассоциирующих с ними пород чувальской свиты отобраны в ходе полевых работ Кваркушской партии отдела РГ и ПИ полярных и приполярных территорий Института Карпинского в 2025 г. (рис. 1).

Определение содержания редких и редкоземельных элементов методом ICP-MS и породообразующих оксидов методом РФА проведено в Центральной лаборатории Института Карпинского.

Микрозондовые исследования проведены на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA3 LMN с энергодисперсионной приставкой X-MAX 50 mm Oxford instruments в Институте геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Петрографическая и минералогическая характеристика тальксодержащих пород

Тальксодержащие породы имеют гранолепидобластовую структуру, сланцеватую текстуру. Породы

примерно на 50 % сложены листоватым агрегатом талька с реликтами серпентина и незначительной примесью карбоната (рис. 2, а). На отдельных участках до 40 % площади шлифа занимает карбонат, образующий отдельные зерна (0.02–1.0 мм) с ромбовидными сечениями и скопления таких зерен. Часто на месте выщелоченных зерен карбоната расположены пустоты ромбической формы, частично выполненные гидроксидами железа, иногда содержащие мелкие зерна новообразованного карбоната (рис. 2, с). Встреченное в обр. 3237/7*1 зерно новообразованного карбоната представлено мезититом, содержащим (мас. %): MgO — 34.99, FeO — 15.33, CaO — 0.47. На ксеноморфные, с одновременным погасанием зерна размером 0.1–1.0 мм, вероятно поздних генераций гидротермального кварца, приходится до 15 % от общего числа кварцевых зерен. Хромит часто образует цепочки мельчайших зерен согласно сланцеватости тальк-серпентинового агрегата или отдельные кубические зерна (рис. 2, b–d).

Хромит представлен кубическими и октаэдрическими кристаллами и их сростками (рис. 2 с, d), содер-

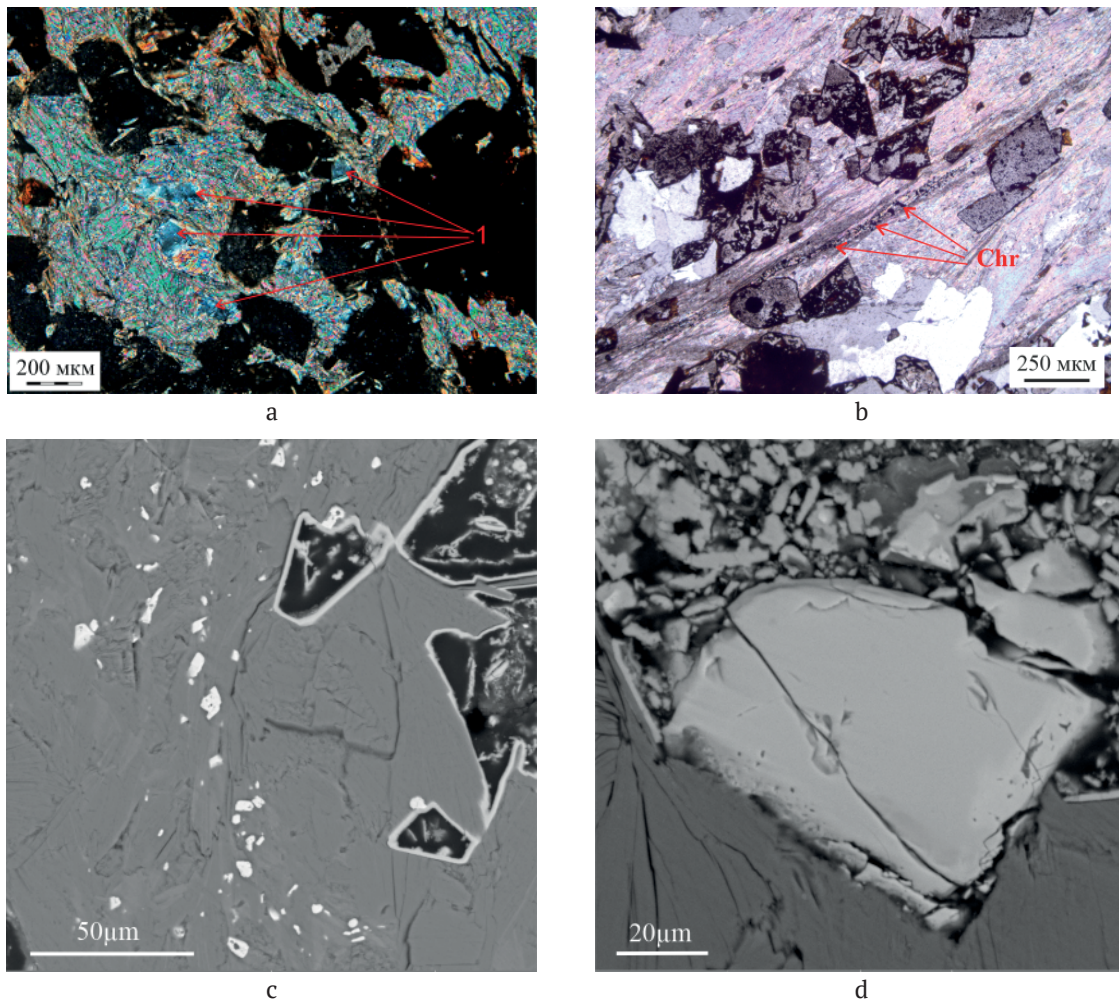


Рис. 2. Тальксодержащие сланцы: а — реликты серпентина (1) в тальке, обр. 3236/7*1; б — цепочка микрокристаллов хромита и выполненные гидроксидами выщелоченные зерна доломита, обр. 3236/6; в — зерно мезитита (1) и каймы гидроксидов в выщелоченных зернах карбоната, обр. 3236/7*1; д — кристалл хромита с каймой, обр. 3236/7*1, зерно 5. Фото сделано: а — в поляризованном, б — в проходящем свете; в, д — с помощью сканирующего микроскопа

Fig. 2. Talc-bearing shales: а — serpentine relics (1) in a carbonate-talc aggregate, sample 3236/7*1; б — chain of chromite microcrystals and leached grains of dolomite-1 filled with hydroxides, sample 3236/6; в — mesitite grain (1) and hydroxide rims on leached carbonate grains, sample 3236/7*1; д — chromite crystal with rim, sample 3236/7*1, grain 5. Photo а — in polarized light, б — in transmitted light, в, д — in scanning electron microscope



жащими (мас. %): Cr_2O_3 –43.45–56.20, Fe_2O_3 –6.77–39.23, Al_2O_3 –8.67–18.65, ZnO – 0–3.82, MnO – 0–0.57, MgO – 0–6.06 (табл. 1), относящимися к алюмохромитам и имеющими следующий нормативно-минальный состав: $(\text{Fe}_{0.48-0.7}\text{Mg}_{0.02-0.25}\text{Zn}_{0.01-0.06})(\text{Cr}_{0.84-1.08}\text{Al}_{0.02-0.69}\text{Mn}_{0-0.01}\text{V}_{0.0-0.01})_2\text{O}_4$.

У большинства зерен хромита отчетливо видны каймы, насыщенные мельчайшими полостями, возниками, вероятно, при выщелачивании микровключений (рис. 2, с). Каймы в большинстве изученных зерен обладают повышенными по сравнению с центральными частями, содержаниями цинка и железа и пониженными — алюминия, хрома и магния. Образование каймы, обогащенной цинком, имеющим высокую миграционную способность, возможно при изо-

морфном замещении цинком магния, содержания которого, в свою очередь, уменьшаются от центральных частей зерен к краевым.

В составе серпентина и талька, образующего основную массу породы, постоянно присутствует никель, замесивший близкий по ионному радиусу магний (табл. 2 и 3).

Геохимическая характеристика пород чувальской свиты

Содержания порообразующих оксидов 12 образцов пород чувальской свиты (талькостержащих сланцев и вмещающих пород) из разреза ТН 3236 приведены в таблице 4.

Таблица 1. Химический состав хромита, мас. %

Table 1. Chemical composition of chromite, wt. %

№ обр. Sample No.	№ зерна Grain No.	№ замера Measuring No.	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	ZnO	Сумма Sum
3236/7.1	1	1	3.76	9.33	–	0.48	56.20	–	29.83	–	99.6
		2*	0.81	8.94	–	0.36	54.54	0.35	33.61	0.64	99.24
	2	1	0.76	10.37	0.26	0.34	54.64	0.24	33.09	0.7	100.4
		2*	0.5	9.56	0.24	0.32	52.33	0.34	32.47	1.19	96.95
	3	1	1.47	13.91	0.2	0.4	50.21	0.32	32.98	0.76	100.25
		2*	0.64	14.48	0.26	0.4	49.64	0.43	33.50	1.60	100.95
	4	1	0.55	10.09	0.27	0.39	53.5	–	33.63	1.29	99.72
		2	0.53	11.27	0.21	0.32	52.33	–	34.21	0.92	99.79
	5	1	1.49	18.65	–	0.3	46.24	–	33.75	0.82	101.24
		2*	0.52	14.24	0.19	0.38	43.45	0.36	33.1	2.15	94.39
		3*	–	8.67	–	0.36	49.94	0.49	39.23	1.33	100.02
3236/6	6	1	4.71	13.97	–	0.17	51.71	0.45	29.10	–	100.13
		2*	2.14	13.62	–	0.21	49.99	0.47	32.04	1.07	99.53
	7	1	0.54	16.15	–	0.22	46.93	0.51	31.71	3.82	99.88
	8	1	0.58	15.71	–	0.2	47.44	0.52	31.31	3.75	99.52
	9	1	0.56	15.35	–	–	48.86	0.41	31.86	3.23	100.27
	10	1	6.06	13.71	–	0.19	52.88	0.55	26.77	–	100.16
		2*	1.11	12.84	0.25	–	49.86	0.57	31.74	1.7	98.23

Примечание: * краевая часть зерна.

Note: * edge of the grain.

Таблица 2. Химический состав серпентина, мас. %

Table 2. Chemical composition of serpentine, wt. %

№ образца Sample No.	№ точки замера Measuring point No.	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	NiO	Сумма Sum
3236/7.1	1-4	26.43	15.99	29.3	4.7	10.23	0.28	86.93
	1-6	25.84	14.43	28.78	5.57	9.69	0.46	84.78
	2-8	26.52	15.6	28.92	4.61	10.11	0.34	86.1
	3-3	26.58	15.22	30.07	4.84	10.02	0.39	87.13
3236/6	1-6	24.63	16.75	29.27	3.86	13.46	0.46	88.43
	1-7	25.24	16.61	30.31	3.89	12.93	0.53	89.51
	2-7	24.63	16.39	29.28	4.01	12.99	0.61	87.91
	2-8	24.39	16.47	29.27	4.11	13.09	0.50	87.84
	2-12	24.54	16.55	29.44	3.85	12.86	0.75	87.99
	3-3	24.04	16.26	28.89	4.51	13.24	0.42	87.35
	3-5	24.75	16.31	30.33	3.78	12.78	0.74	88.69



Таблица 3. Химический состав талька, мас. %

Table 3. Chemical composition of talc, wt. %

№ образца Sample No.	№ точки замера Measuring point No.	MgO	SiO ₂	FeO	NiO	Сумма Sum
3236/7.1	1-3	29.07	63.20	3.33	0.37	95.97
	2-7	27.98	61.04	3.38	0.54	92.93
	4-4	29.36	64.00	3.42	0.35	97.12
3236/6	1-3	29.01	63.60	4.69	0.36	97.66
	1-4	28.56	63.35	4.62	0.13	96.66
	1-5	28.67	63.27	4.58	0.27	96.8
	2-9	27.96	62.48	4.38	0.63	95.44
	2-10	28.63	63.18	4.48	0.59	96.89
	2-11	28.48	63.15	4.23	1.01	96.86
	3-4	28.42	63.47	4.75	0.38	97.03

На диаграмме «НКМ — ГМ» (Юдович, Кетрис, 2000) фигуративные точки составов пород сгруппированы в три кластера, в которые не вошла точка песчаников обр. 10 (рис. 3, а). Выделенные группы пород существенно различны по содержанию SiO₂, максимальное количество которого содержит кварцевый песчаник обр. 3236/10 и рассланцованные песчаники кластера I, характеризующиеся также минимальными содержаниями MgO (рис. 3 а, табл. 1). Хлорит-кварцевые сланцы кластера II с максимальными значениями гидрозатратного модуля, с высокими концентрациями FeO, CaO и TiO₂ по содержанию MgO > 3.0 мас. % отнесены в соответствии с классификацией Я. Э. Юдовича и М. П. Кетрис (Юдович, Кетрис, 2000) к псевдосиликатам — породам, содержащим примесь основной пирокластики или вулканокластики из области размыва. Сланцы кластера III отличаются минимальными содержаниями Al₂O₃ и щелочей и максимальными содержаниями MgO, дающими повод предположить присутствие в них пирогенной примеси основного состава.

На треугольной диаграмме «Al — (Fe₂O₃ + FeO + Ti) — Mg» (Jensen, 1976) фигуративные точки желези-

Таблица 4. Содержания порообразующих оксидов, мас. %

Table 4. Contents of rock-forming oxides, wt. %

№ образца Sample No.	I			II			III					3236/10
	3236/11	3236/17	3236/19	3236/2	3236/5	3236/12	3236/3	3236/6	3236/7*1.	3236/7*2	3236/9	
Оксиды, модули и отношения Oxides, modules and ratios												
SiO ₂	63.8	62.5	65.3	46.2	41.3	49.8	54.2	56.2	53.6	58.9	60.3	89.5
TiO ₂	0.49	1.37	0.88	2.49	1.93	1.22	0.17	0.19	0.17	0.22	0.068	0.2
Al ₂ O ₃	17.00	15.30	11.40	12.30	8.67	15.00	1.14	1.84	1.15	3.32	5.50	6.20
Fe ₂ O ₃	2.94	6.32	2.87	2.98	2.25	4.25	7.5	6.58	7.77	7.61	2.73	1.61
FeO	1.71	4.43	5.32	9.95	7.24	6.56	3.53	3.82	3.43	3.57	3.95	0.24
MnO	0.17	0.28	0.22	0.26	0.25	0.28	0.26	0.32	0.21	0.28	0.32	0.063
MgO	3.48	2.25	2.74	11.2	9.5	10.6	26.9	22.1	26.9	19.9	7.55	0.74
CaO	1.43	0.043	2.88	3.56	9.96	1.86	<.01	1.25	<.01	0.019	6.69	0.054
Na ₂ O	5.96	<0.1	3.02	<0.1	1.34	2.16	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.3
K ₂ O	<0.01	<0.01	0.018	0.026	0.043	0.09	<0.01	0.031	0.014	0.17	<0.01	0.096
P ₂ O ₅	<0.05	<0.05	<0.05	0.3	0.28	0.094	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ппп / LOI	2.82	3.14	5.04	9.85	16.5	7.47	6.22	7.39	6.72	5.95	12.6	0.57
Сумма / Sum	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	100.0	100.0	100.0
ГМ / GM	0.35	0.44	0.32	0.61	0.49	0.55	0.23	0.23	0.24	0.25	0.21	0.09
НКМ / NKM	0.36	0.27	0.27	0.01	0.16	0.15	0.16	0.07	0.09	0.08	0.03	0.23
(Fe+Mn)/Ti	9	10	11	2	2	6	68	54	70	54	66	13
Al/(Al+Fe+Mn)	0.75	0.48	0.50	0.68	0.67	0.65	0.08	0.14	0.08	0.20	0.51	0.67
AL	55.20	64.36	35.09	0.78	6.64	15.30	0.66	0.52	0.38	1.29	1.25	63.74
CCPI	41.26	42.18	53.60	99.04	88.13	83.48	99.35	99.47	99.63	98.76	97.88	51.96
log(SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	0.57	0.61	0.76	0.57	0.68	0.52	1.68	1.48	1.67	1.25	1.04	1.16
log(Fe ₂ O ₃ общ./K ₂ O)	1.51	0.83	2.20	2.06	1.72	1.67	1.92	2.33	2.74	1.65	1.48	1.22

Примечание: обр. 3236/11, 3236/17, 3236/19 — вулканомиктовые песчаники; обр. 3236/2, 3236/5, 3236/12 — хлорит-кварцевые сланцы; обр. 3236/3, 3236/6, 3236/7*1, 3236/7*2, 3236/9, 3236/16 — тальксодржающие сланцы; обр. 3236/10 — кварцевый песчаник.

Note: 3236/11, 3236/17, 3236/19 — volcanomictic sandstones; 3236/2, 3236/5, 3236/12 — chlorite-quartz shales; 3236/3, 3236/6, 3236/7*1, 3236/7*2, 3236/9, 3236/16 — talc-bearing shales; 3236/10 — quartz sandstone.

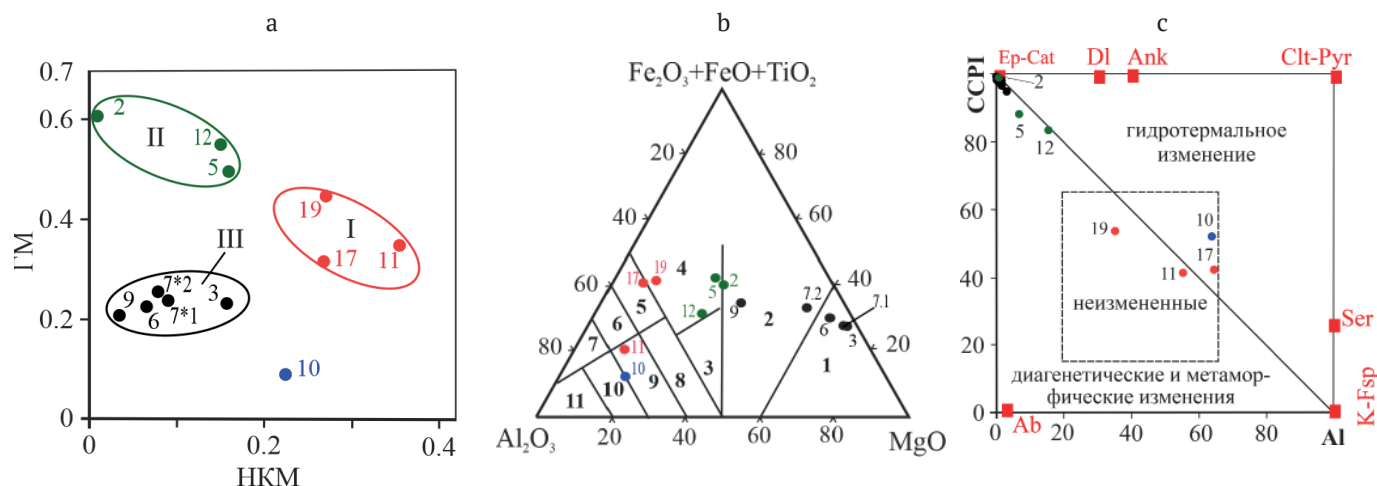


Рис. 3. Положение фигуративных точек пород чувальской свиты на диаграммах: а — НКМ — ГМ (по: Юдович, Кетрис, 2000); б — Al — (Fe₂O₃ + FeO + Ti) — Mg (по: Jensen, 1976), где поля составов: 1 — коматииты (пикриты); 2 — коматиитовые базальты; 3–7 — вулканиты толеитовой серии: 3 — высокомагнезиальные и 4 — высокожелезистые базальты; 5 — андезиты; 6 — дациты; 7 — риолиты; 8–11 — вулканиты известково-щелочной серии: 8 — базальты; 9 — андезиты; 10 — дациты; 11 — риолиты; с — Al — CCPI (по: Large et al., 2001), где CCPI = 100(MgO + FeO_t)/(Mg + FeO_t + K₂O + Na₂O); Al = 100(K₂O + MgO)/(K₂O + MgO + Na₂O + CaO). Здесь и далее на рисунках приведены только последние цифры номера образца

Fig. 3. Position of data points for rocks of the Chuval Formation on the diagrams: а — NKM — GM (after Yudovich and Ketris, 2000); б — Al — (Fe₂O₃ + FeO + Ti) — Mg (after Jensen, 1976), where the composition fields are: 1 — komatiites (picrites); 2 — komatiite basalts; 3–7 — tholeiitic series volcanics: 3 — high-magnesian and 4 — high-iron basalts; 5 — andesites; 6 — dacites; 7 — rhyolites; 8–11 — calc-alkaline series volcanics: 8 — basalts; 9 — andesites; 10 — dacites; 11 — rhyolites; с — Al — CCPI (after: Large et al., 2001), where CCPI = 100(MgO + FeO_t)/(Mg + FeO_t + K₂O + Na₂O); Al = 100(K₂O + MgO)/(K₂O + MgO + Na₂O + CaO)

сто-магнезиальных сланцев кластера III попали в поля пикритов и пикритовых базальтов (рис. 3, б). Содержащие меньшее количество вулканокластики сланцы кластера II находятся в поле железистых базальтов, а вулканомиктовые песчаники кластера I — в полях базальтов и андезитов.

О присутствии в породах кластера III продуктов подводных вулканических эксгаляций свидетельствуют значения (Fe + Mn)/Ti > 25 (Страхов, 1963) и Al/(Al + Fe + Mn) < 0.4 (Bostrom, 1973).

Положение точек составов пород чувальской свиты на диаграмме «Al — CCPI» указывает на интенсивную карбонатизацию пород, объединенных в кластеры II и III, и отсутствие изменений в песчаниках кластера I и обр. 10 (рис. 3, с). Большая часть сланцев кластеров II и III содержат малые количества CaO (табл. 4), поэтому можно считать, что карбонаты представлены в основном магнезитом, возможно с примесью доломита и анкерита. Исключение составляют сланцы обр. 5 и 9, в которых присутствуют достаточные для образования доломита содержания CaO (9.96 и 6.69 мас. %). Вероятно, исходные осадочные породы, с которыми смешаны вулканогенные обломки, содержали некоторое количество карбонатного материала.

Состав редкоземельных и малых элементов в породах чувальской свиты приведен в таблице 5.

Спектры нормированных на хондрит (Тейлор, МакЛеннан, 1988) содержаний REE в выделенных по пороодообразующим элементам кластерам имеют свои специфические особенности (рис. 4).

Для песчаников кластера I характерны практически горизонтальные спектры распределения, по форме и содержанию элементов близкие E-MORB, отношения $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ составляют 1.91–2.50, Eu/Eu* — 0.84–0.95 (рис. 4, а, табл. 5). Форма и наклон спектров

распределения REE в обр. 12 хлорит-кварцевых сланцев кластера II аналогичны песчаникам кластера I, а обр. 2 и 5 отличается крутой наклон тяжелой части спектра с отношением $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 6.53 и 7.02 (рис. 4, б; табл. 5). Для тальксодержащих сланцев кластера III характерны пониженные содержания REE, пологий наклон кривой ($\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 2.36–4.16) и отсутствие в большинстве образцов европейского минимума (рис. 4, с, табл. 5). Не затронутые гидротермальными изменениями песчаники обр. 10 по форме кривой и четко проявленному европейскому минимуму (Eu/Eu* — 0.61) сходны с PAAS, а концентрации REE в них примерно в три раза ниже PAAS, что характерно для зрелых кварцевых песчаников с незначительным количеством акцессорных минералов и слюд (рис. 4, d). Незначительный дефицит церия, отмеченный в спектрах большинства образцов, может быть результатом подводного выветривания вулканогенной примеси, к которому в наиболее измененных сланцах кластера III добавлено гидротермальное воздействие (Дубинин, 2006).

На классификационной диаграмме «Th/Yb — Ta/Yb» фигуративные точки тальксодержащих сланцев попали в поле уральских магматитов основного состава древнее 380 млн лет, а точки обр. 3236/2 и 3236/5 расположены вблизи значений внутриплитных базальтов (рис. 5).

На мультиэлементных диаграммах нормированных на UCC (Григорьев, 2002) содержаний элементов-примесей видно, что концентрации Cr (2310–4820 г/т), Co (79.5–156 г/т) и Ni (1510–3320 г/т) в тальксодержащих сланцах в десятки раз превышают UCC (рис. 6). Концентрактором кобальта могут быть гидроксиды марганца, хрома — хромиты, а никеля — тальк. Поскольку максимальные содержания Ni и Co отмечены в образцах, содержащих наибольшие количества Fe (табл. 4 и 5),



Таблица 5. Содержания элементов-примесей, г/т

Table 5. Contents of trace elements, ppm

Эле- менты и отно- шения Elements and ratios	№ обр. Sample No.	I			II			III					3236/10
		3236/11	3236/17	3236/19	3236/2	3236/5	3236/12	3236/3	3236/6	3236/7*1	3236/7*2	3236/9	
Au		0.0079	0.073	<.002	0.016	0.0066	<.002	0.0049	0.0035	0.0078	0.0068	0.0065	<.002
Li		5.15	20.4	13.7	75.3	37.4	58.2	7.53	5.92	6.11	11.2	21.2	<1
Sc		12.2	43.6	31.2	36.6	27	33.8	16.1	15.1	15.4	20.7	14	4.48
Co		10.6	31.3	27.4	82.2	58.4	77.3	156	140	161	155	79.5	6.11
Ni		10.3	21.8	31.2	622	513	666	3020	3110	3320	2940	1510	19.5
Cr		8.46	7.33	17	885	829	1060	3310	3170	3510	3270	2310	31.5
Cu		268	43.8	24.3	19.1	62.3	2.78	86.8	74.8	22.8	54.3	29.5	24.1
Zn		34.6	104	164	141	76.5	116	53.5	54	48.3	77.4	55.4	22.3
Ag		0.21	0.027	0.036	0.082	0.12	<0.01	0.05	0.047	0.072	0.17	0.38	0.28
Sb		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.14	0.11	<0.1	0.15	<0.1	<0.1
Pb		7.81	6.49	3.61	6.19	9.4	4.6	12.9	16.9	10.6	20.6	11.8	104
Bi		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.16	<0.1	<0.1	0.14	0.12	0.11
Be		<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
V		145	469	294	369	280	281	80.1	65.4	68.7	94	90.1	26
Ga		10.8	14.2	10.8	16.4	11.5	11.5	2.62	2.51	2.36	4.13	4.35	3.02
Rb		<2	16.6	<2	2.4	3.16	4.41	2.54	3.66	3.48	9.6	<2	2.91
Sr		80.7	13.5	26.6	69.3	213	22.7	3.21	21	3.36	5.42	73.2	3.26
Y		39	28.8	24.3	24.3	16.7	22.5	5.41	9.3	3.96	9.61	5.7	8.74
Zr		90.6	56	84.8	158	130	71.3	15.5	14.7	16.1	25.5	7	162
Nb		1.87	1.3	1.54	33.3	28.2	4.25	1.46	0.87	2.13	1.71	0.75	2.58
Mo		2.15	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	2.98	<0.6	<0.6	1.52	1.05
Sn		1.71	0.66	0.63	1.72	1.46	1.05	0.5	0.41	0.75	5.85	0.51	0.7
Cs		<0.1	1.16	<0.1	<0.1	0.13	0.21	0.17	0.23	0.22	0.52	<0.1	0.2
Ba		250	116	57.4	34.8	27.3	46.8	120	91.3	59	97	24.2	36.6
La		7.56	3.95	7.11	26.3	19.7	4.26	2.09	5.28	2.3	5.4	1.62	9.7
Ce		18.9	8.4	16.6	50.7	41.1	9.6	4.08	4.26	4.73	9.78	2.95	20
Pr		2.69	1.79	2.43	7.32	5.6	1.66	0.68	1.78	0.67	1.64	0.55	2.55
Nd		12.6	9.08	11.2	30.1	23	8.26	3.15	7.83	2.82	7.13	2.69	9.88
Sm		3.75	3.07	3.01	6.45	5.04	2.72	0.84	1.91	0.7	1.7	0.81	2.08
Eu		1.1	1.00	0.91	1.64	1.36	0.9	0.3	0.52	0.16	0.48	0.29	0.4
Gd		4.19	3.35	3.1	5.76	4.25	2.96	0.83	1.68	0.68	1.55	0.89	1.84
Tb		0.86	0.66	0.6	0.87	0.63	0.58	0.15	0.27	0.11	0.26	0.16	0.26
Dy		6.25	4.79	4.23	4.78	3.32	3.9	0.93	1.56	0.67	1.66	0.93	1.59
Ho		1.45	1.04	0.95	0.88	0.63	0.85	0.19	0.32	0.14	0.33	0.2	0.33
Er		4.35	3.09	2.81	2.26	1.63	2.44	0.57	0.9	0.38	0.95	0.53	0.93
Tm		0.67	0.45	0.41	0.3	0.21	0.35	0.085	0.13	0.061	0.14	0.072	0.15
Yb		4.37	2.89	2.76	1.77	1.26	2.19	0.54	0.9	0.43	0.95	0.51	0.98
Lu		0.62	0.44	0.38	0.26	0.17	0.32	0.084	0.15	0.064	0.15	0.075	0.14
Hf		3.06	1.76	2.39	4.13	3.42	1.98	0.48	0.51	0.47	0.73	0.2	4.34
Ta		0.16	0.12	0.14	2.22	1.88	0.3	<0.1	<0.1	0.15	0.15	<0.1	0.21
W		9.2	9.32	<0.5	0.56	0.52	0.64	2	1.12	2.34	1.06	0.8	<0.5
Th		2.41	0.54	1.99	0.75	0.61	1.55	1.81	0.35	0.38	1.32	2.3	0.2
U		0.51	0.26	0.42	0.72	0.56	0.18	0.95	0.46	0.24	0.45	<0.1	0.75
LREE		46	26	40	121	94	27	11	21	11	26	9	44
HREE		24	18	16	19	13	14	4	6	3	6	4	7
ΣREE		41	50	20	139	108	44	15	27	14	32	12	69
Σ LREE / Σ HREE		1.91	1.48	2.50	6.53	7.02	1.83	2.95	3.28	4.16	3.96	2.36	6.68
Eu/Eu*		0.84	0.95	0.90	0.81	0.88	0.96	1.09	0.87	0.70	0.89	1.04	0.61
Ce/Ce*		0.98	0.74	0.93	0.85	0.91	0.85	0.80	0.33	0.89	0.77	0.73	0.93

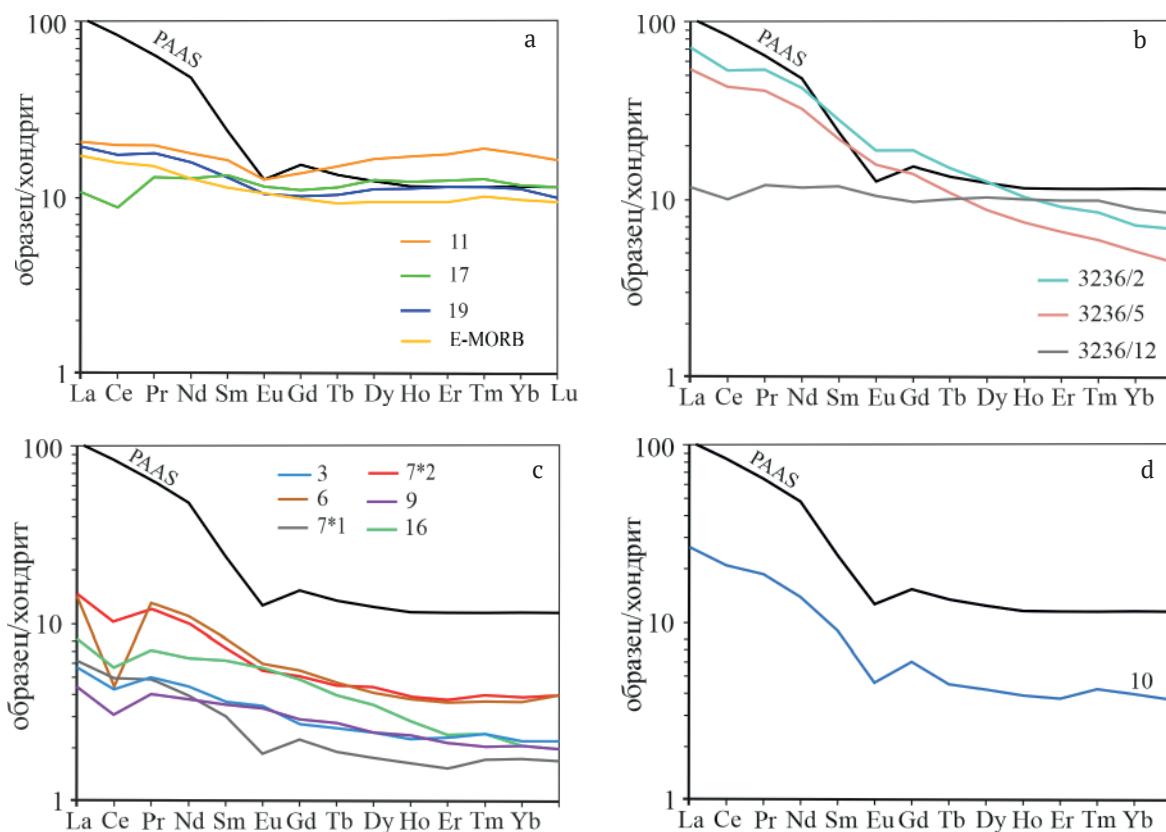


Рис. 4. Нормированные на хондрит (Тейлор, МакЛеннан, 1988) спектры распределения REE в породах чувальской свиты: а – кластер I; б – кластер II; с – кластер III, d – обр. 10, вне кластеров

Fig. 4. Chondrite-normalized (Taylor, McLennan) REE distribution spectra in rocks of the Chuval Formation: a – cluster I; b – cluster II; c – cluster III, d – sample 10, outside clusters

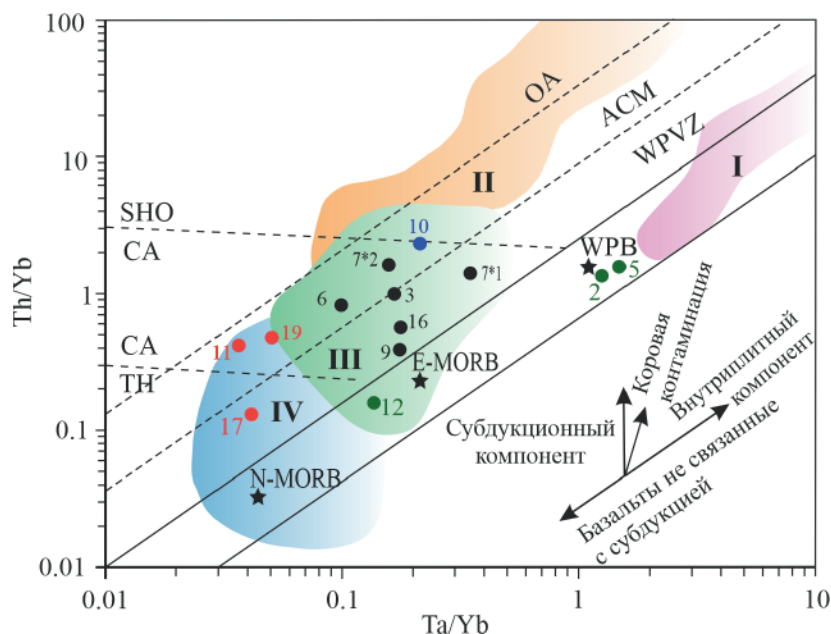


Рис. 5. Классификационная диаграмма Th/Yb – Ta/Yb (по: Pearce, 1982, Прибавкин, 2017), где OA – океанические дуги; ACM – активная континентальная окраина; WPVZ – внутриплитная вулканическая зона, WPB – внутриплитные базальты; E-MORB – обогащенные и N-MORB – деплетированные базальты срединно-океанических хребтов. Поля на диаграмме: I – анарогенные лампроиты Западной Австралии, Северной Америки, Антарктиды, Индии, Костамукши; II – орогенные лампроиты, лампроитоподобные породы, минетты Испании, Италии, Корсики, Перу, Индонезии, Тайваня, Вьетнама, Тибета, Колорадо, Алдана; III и IV – уральские магматиты основного состава древнее и моложе 380 млн лет соответственно

Fig. 5. Classification diagram Th/Yb–Ta/Yb (after: Pearce, 1982, Pribavkin, 2017) dividing basalts of oceanic arcs (OA), active continental margins (ACM), within-plate volcanic zones (WPVZ), within-plate basalts (WPB) and mid-ocean ridge basalts (E-MORB – enriched; N-MORB – depleted). Fields in the diagram: I – anarogenic lamproites of Western Australia, North America, Antarctica, India, Kostamuksha; II – orogenic lamproites, lamproite-like rocks, minettes of Spain, Italy, Corsica, Peru, Indonesia, Taiwan, Vietnam, Tibet, Colorado, Aldan; III and IV – Uralian mafic igneous rocks older and younger than 380 Ma, respectively

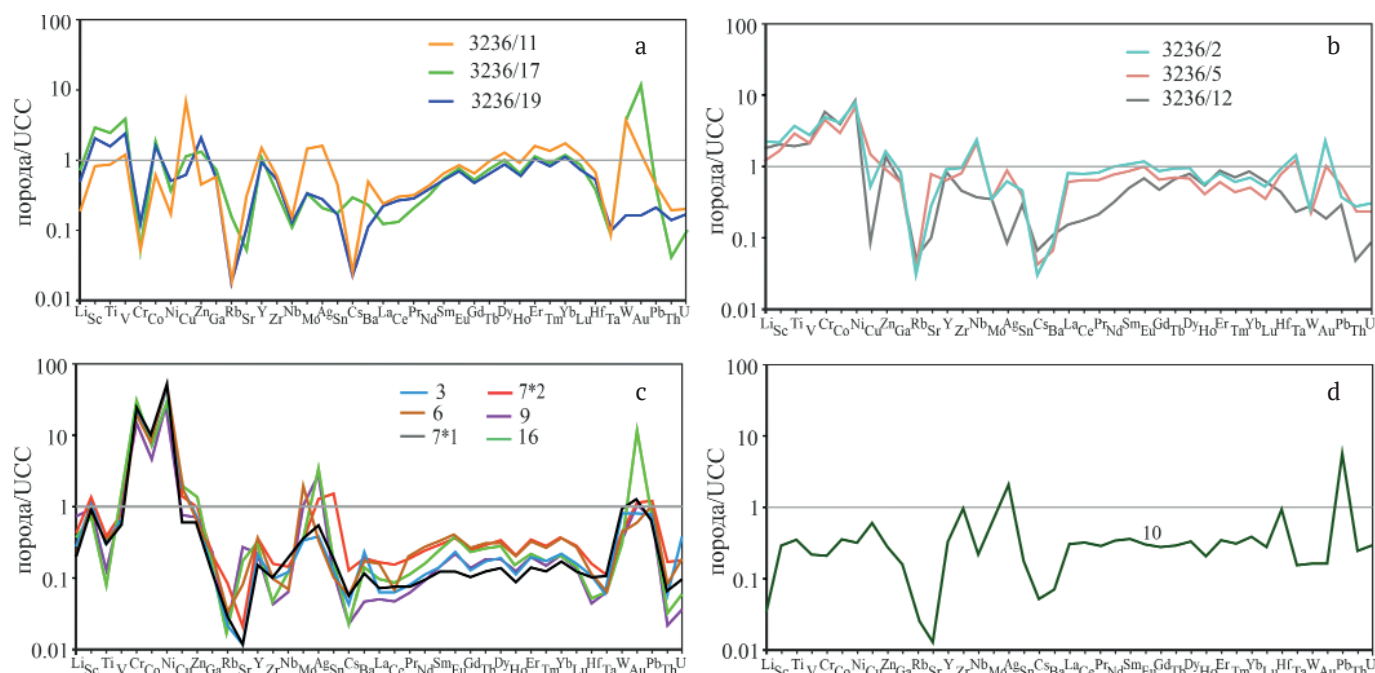


Рис. 6. Графики распределения нормированных на UCC (Григорьев, 2002) элементов-примесей в породах чувальской свиты: а — кластер I; б — кластер II; с — кластер III, d — обр. 10, вне кластеров

Fig. 6. Graphs of distribution of trace elements normalized to UCC (Grigoriev, 2002) in rocks of the Chuval Formation: a — cluster I; b — cluster II; c — cluster III, d — sample 10, outside clusters

можно считать, что минералами-носителями никеля были сульфиды железа (пирротин, пентландит, пирит).

Обсуждение и выводы

Мы предполагаем следующий механизм возникновения талькосодержащих пород: вулканогенно-осадочные породы основного (ультраосновного) состава, образованные в результате попадания в водоем переменного (в том числе значительного) количества вулканогенного материала, в зоне тектонического контакта с породами хапхарской свиты подверглись метасоматическим изменениям. На первом этапе под воздействием гидротермальных растворов проходил вынос щелочных и щелочноземельных элементов, мафические силикаты были замещены серпентином. Одновременно с серпентинизацией шло разложение присутствующих в составе вулканогенной примеси никельсодержащих сульфидов с переходом никеля в раствор. Высвобожденный в результате кислотного метасоматоза никель был повторно отложен в серпентините, заместив выщелоченный магний. На втором этапе произошло выщелачивание серпентинита, который почти нацело был замещен тальк-карбонатной породой.

В пользу такой схемы образования говорит присутствие в средней части чувальской свиты вулканогенно-осадочных пород (Государственная..., 2017), а туфы ультраосновных пород известны в составе чувальского metabазальтового комплекса формации натриевых базальтов (Румянцев, 1977; Зильберман, 1996; Ибаминов, Лебедев, 2006).

Таким образом, аномально высокие концентрации никеля, кобальта и хрома приурочены к вулканогенно-осадочной части чувальской свиты, имеют, вероятно, достаточно широкое распространение по ла-

терали и представляют интерес при поисках более крупных рудопроявлений.

Работа выполнена в рамках тем Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А. П. Карпинского (Государственное задание Федерального агентства по недропользованию от 25.12.2024 г. № 049–00004–25–00) и ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 122040600012–2).

Литература / References

- Артемьев Д. А., Зайков В. В. Тальк-карбонатные метасоматиты и их роль в формировании кобальт-медноколчеданного оруденения в ультрамафитах Главного Уральского разлома // Литосфера. 2009. № 1. С. 47–69. Artemyev D. A., Zaikov V. V. Talc-carbonate metasomatites and their role in the formation of cobalt-copper-pyrite mineralization in ultramafic rocks of the Main Ural Fault. Lithosphere. 2009;(1):47–69. Russian.
- Великославинский С. Д., Глебовицкий В. А., Крылов Д. П. Разделение силикатных осадочных и магматических пород по содержанию петрогенных элементов с помощью дискриминантного анализа // ДАН. 2013. Т. 453. № 3. С. 310–313. Velikoslavinsky S. D., Glebovitsky V. A., Krylov D. P. Separation of silicate sedimentary and igneous rocks by the content of petrogenic elements using discriminant analysis. Dokl. Earth Sci. 2013;453(3):310–313. Russian.
- Грановская Н. В., Кочергин А. В. Структурно-морфологические типы и условия локализации апокарбонатного талькового сырья в Белоретском районе Западно-Уральской провинции // Геология рудных месторождений. 2020. Т. 62. № 6. С. 529–547. Granovskaya N. V., Kochergin A. V. Structural-morphological types and localization conditions of apocarbonate talc raw materials in the Beloretsk district of the West

- Ural province. Geol. Ore Deposits. 2020;62(6):529–547. Russian.
- Григорьев Н. А. О кларковом содержании химических элементов верхней части континентальной коры // Литосфера. 2002. № 1. С. 61–71.
- Grigoriev N. A. On the clark content of chemical elements in the upper part of the continental crust. Lithosphere. 2002;(1):61–71. Russian.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Издание второе. Серия Пермская. Лист P-40-XXIX. Объяснительная записка. М.: Московский филиал ВСЕГЕИ, 2017. 144 с.
- State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:200,000. Second edition. Perm Series. Sheet P-40-XXIX. Explanatory Note. Moscow: Moscow Branch of VSEGEI; 2017. 144 p. Russian.
- Дубинин А. В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 359 с.
- Dubinina A. V. Geochemistry of rare-earth elements in the ocean. Moscow: Nauka; 2006. 359 p. Russian.
- Зильберман А. М. Некоторые вопросы корреляции магматических комплексов Западного Урала (на примере Северного и Среднего Урала) // Моделирование геологических систем и процессов. Пермь: Пермский университет, 1996. С. 46–49.
- Zilberman A. M. Some issues of correlation of magmatic complexes of the Western Urals (on the example of the Northern and Middle Urals). In: Modeling of geological systems and processes. Perm: Perm University; 1996. p. 46–49. Russian.
- Ибламинов Р. Г., Лебедев Г. В. Вулканические комплексы магматических формаций западного склона Среднего и Северного Урала // Литосфера. 2006. № 1. С. 76–90.
- Iblaminov R. G., Lebedev G. V. Volcanic complexes of igneous formations of the western slope of the Middle and Northern Urals. Lithosphere. 2006;(1):76–90. Russian.
- Огородников В. Н., Сазонов В. Н., Поленов Ю. А., Григорьев В. В. Шабровский рудный район (Средний Урал). Екатеринбург: УГГА, 2000. 80 с.
- Ogorodnikov V. N., Sazonov V. N., Polenov Y. A., Grigoriev V. V. Shabrovsky ore district (Middle Urals). Yekaterinburg: UGGA; 2000. 80 p. Russian.
- Онищенко С. А., Соболева А. А. Апогипербазитовые метасоматиты поднятия Енганепэ (Полярный Урал) // Вестник геонаук. 2021. № 3 (315). С. 11–20.
- Onishchenko S. A., Soboleva A. A. Apo-ultramafic metasomatites of the Enganepe uplift (Polar Urals). Vestnik of Geosciences. 2021;(3):11–20. Russian.
- Прибавкин С. В. Лампроиты Южного Урала: проблемы номенклатуры, возраста, геодинамической интерпретации // Литосфера. 2017. № 1. С. 53–67.
- Pribavkin S. V. Lamproites of the Southern Urals: problems of nomenclature, age, and geodynamic interpretation. Lithosphere. 2017;(1):53–67. Russian.
- Романович И. Ф. и др. Месторождения талька СССР. М.: Недра, 1973. 224 с.
- Romanovich I. F. et al. Talc deposits of the USSR. Moscow: Nedra; 1973. 224 p. Russian.
- Румянцева Н. А. О классификации эффузивных пород // Зап. ВМО. 1977. Сер. 2 Ч. 106. Вып. 1. С. 53–61.
- Rumyantseva N. A. On the classification of effusive rocks. Zap VMO. 1977;106(1):53–61. Russian.
- Страхов Н. М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 535 с.
- Strakhov N. M. Types of lithogenesis and their evolution in the history of the Earth. Moscow: Gosgeoltekhizdat; 1963. 535 p. Russian.
- Солодкий Н. Ф., Шамриков В. М., Погребенков В. М. Минерально-сырьевая база Урала для керамической, огнеупорной и стекольной промышленности: Справочное пособие / Под ред. Г. Н. Масленниковой. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 332 с.
- Solodkiy N. F., Shamrikov V. M., Pogrebenkov V. M. Mineral resource base of the Urals for the ceramic, refractory and glass industries. Reference manual. Maslennikova G. N. editor. Tomsk: TPU Publishing House; 2009. 332 p. Russian.
- Спиридонов Э. М., Жернаков В. И., Бакшеев И. А., Савина Д. Н. Типоморфизм талька апогипербазитовых тальк-карбонатных метасоматитов Урала // ДАН. 2000. Т. 372. № 3. С. 378–380.
- Spiridonov E. M., Zhernakov V. I., Baksheev I. A., Savina D. N. Typomorphism of talc in apohypermafic talc-carbonate metasomatites of the Urals. Dokl. Earth Sci. 2000;372(3):378–380. Russian.
- Тейлор С. Р., МакЛеннан С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1998. 384 с.
- Taylor S. R., McLennan S. M. Continental crust: its composition and evolution. Moscow: Mir; 1998. 384 p. Russian.
- Хворов П. В. Сыростанское месторождение талькомагнезита (Южный Урал). Миасс: ИМИН УрО РАН, 2003. 68 с.
- Khvorov P. V. Syrostan talcomagnesite deposit (Southern Urals). Miass: IMIN UB RAS; 2003. 68 p. Russian.
- Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Yudovich Y. E., Ketris M. P. Fundamentals of lithochemistry. St. Petersburg: Nauka; 2000. 479 p. Russian.
- Bostrom K. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments. Stockholm Contrib Geol. 1973;27(2):1243.
- Jensen L. S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Div Mines Misc. 1976:66.
- Large R. R., Gemmell J. B., Paulic H., Huston D. L. The alteration box plot: a simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and lithochemistry associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits. Econ Geol. 2001;96(5):957–971. DOI:10.2113/gsecongeo.96.5.957
- Pearce J. A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe RS, editor. Andesites. New York: Wiley; 1982. p. 525–548.

Поступила в редакцию / Received 16.06.2026



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 551.734 (470.4+574.1)

DOI: 10.19110/geov.2026.7.3

Характеристика органического вещества *Phylladoderma arberi* Zalessky — растения-деривата пермских углей Печорского бассейна

Л. С. Кочева¹, О. П. Тельнова¹, А. П. Карманов², А. В. Гоманьков³, В. П. Лютоев¹¹ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
*lskocheva@geo.komisc.ru, telnova@geo.komisc.ru, vplutoev@geo.komisc.ru*² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия, *apk048@yandex.ru*³ Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия, *gomankov@mail.ru*

На основе структурно-химических исследований органического вещества фитолейм *Phylladoderma arberi* Zalessky, слагающих пермский филладодермовый уголь (Печорский угольный бассейн, Республика Коми, Россия), получены данные о существовании в пермских растениях-дериватах композиционно однородного протолигнина Н-типа. Идентифицированные методами пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии низкомолекулярные фенольные соединения и структуры представлены единицами *p*-кумарового типа (Н-лигнин). Современные лигнины такого композиционного состава неизвестны. Методом электронного парамагнитного резонанса описаны парамагнитные свойства органического вещества фитолейм *P. arberi* с концентрацией парамагнитных центров порядка 3×10^{18} спин/г. Сопоставление полученных данных с результатами ранее проведенных исследований девонских и каменноугольных фитофоссилий указывает на сходный структурный тип протолигнинов. Дано описание кутикулярной структуры *P. arberi*.

Ключевые слова: хемосистематика, фитолеймы *Phylladoderma arberi* Zalessky, лигнин, пермский филладодермовый уголь, Печорский угольный бассейн

Characteristics of the organic matter of *Phylladoderma arberi* Zalessky — a plant derivative of the Permian coals of the Pechora Basin

L. S. Kocheva, O. P. Telnova, A. P. Karmanov, A. V. Gomankov, V. P. Lyutoev

¹ Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia² Institute of Biology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia³ Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg, Russia

Based on structural and chemical studies of the organic matter of *Phylladoderma arberi* Zalessky compressions, which form the Permian Phylladoderma coal (Pechora coal basin, Komi Republic, Russia), data have been obtained on the existence of compositionally homogeneous H-type protolignin in Permian plant derivatives. Low molecular weight phenolic compounds and structures identified by pyrolytic gas chromatography-mass spectrometry are represented by *p*-coumaric units (H-lignin). Modern lignins of this composition are unknown. Electron paramagnetic resonance has been used to describe the paramagnetic properties of the organic matter of *P. arberi* compressions, with a paramagnetic center concentration of approximately 3×10^{18} spin/g. A comparison of the obtained data with the results of previous studies of the Devonian and Carboniferous plant remains indicates a similar structural type of protolignins. A description of the cuticular structure of *P. arberi* is given.

Keywords: chemosystematics, *Phylladoderma arberi* Zalessky compressions, lignin, permian *Phylladoderma* coal, Pechora coal basin

Введение

Представляемая работа является продолжением цикла хемосистематических исследований палеозойских растительных фоссилий (Telnova et al., 2022; Kocheva et al., 2022; Telnova et al., 2023; Kocheva et al.,

2026). Хемосистематика, новое в России направление, представляет собой раздел науки таксономии, в которой организмы классифицируются в зависимости от сходств их биохимического состава. Известно, что в современном мире некоторые химические вещества ха-

Для цитирования: Кочева Л. С., Тельнова О. П., Карманов А. П., Гоманьков А. В., Лютоев В. П. Характеристика органического вещества *Phylladoderma arberi* Zalessky — растения-деривата пермских углей Печорского бассейна // Вестник геонаук. 2026. 7(379). С. 31–38. DOI: 10.19110/geov.2026.7.3

For citation: Kocheva L. S., Telnova O. P., Karmanov A. P., Gomankov A. V., Lyutoev V. P. Characteristics of the organic matter of *Phylladoderma arberi* Zalessky — a plant derivative of the Permian coals of the Pechora Basin. Vestnik of Geosciences, 2026, 7(379), pp. 31–38. DOI: 10.19110/geov.2026.7.3

актерны только для организмов определенных видов, родов, семейств или порядков, и это может в дополнение к морфологии служить основой их классификации. Поэтому работы по применению результатов физико-химических исследований для палеозойских растительных фоссилий являются актуальными.

В данной работе в качестве основного биомаркера, обладающего специфическими таксономическими признаками, предложен один из наиболее устойчивых растительных полимеров — лигнин (Yu et al., 2025; Reyes-Rivera et al., 2020), продукты трансформации которого при окислительно-восстановительных, дегидратационных и конденсационных процессах, протекающих при фоссилизации, сохраняют свою ароматическую природу.

Лигнины представляют собой ароматические природные высокомолекулярные соединения, входящие в состав всех наземных высших растений и выполняющие адаптивные и другие жизненно важные функции — механические, биохимические, антиоксидантные и др. (Liu et al., 2025).

Лигнины являются продуктами биосинтеза и отличаются сложной химической структурой (рис. 1, а) из трех основных фенолпропановых единиц (ФПЕ) — гваяцильной (G), сиригильной (S) и *n*-кумаровой (H) (рис. 1, б) (Zheng et al., 2025). В процессе образования межмономерных связей могут участвовать различные атомы углерода ФПЕ. Для лигнинов характерна поливариантность типов межмономерных связей (алкиларилэфирные, арил-арильные, алкил-алкильные) и функциональных групп. Установлено, что процесс биосинтеза на этапе свободнорадикальной дегидрогенизационной полимеризации в системе «мономерный предшественник — пероксидаза — пероксид водорода» с образованием макромолекул лигнина протекает без прямого генетического контроля (Лебедев и Шестибратов, 2021; Peracchi et al., 2024), в отличие от синтеза монолигнолов, которые являются основными структурными фрагментами лигнинов. Все известные современные лигнины являются композиционно неоднородными, состоящими из G-, S- и H-структурных фрагментов в том или ином соотношении. Единственное исключение составляет лигнин лиственницы, построенный только из гваяцильных G-единиц (Wan et al., 2025).

В настоящее время известно, что механизмы синтеза лигнина существовали у водорослей задолго до выхода растений на сушу. Соединения, идентифицированные как лигнины, обнаружены в зеленых и красных водорослях, которые появились более миллиарда лет назад. Лигнин также обнаружен у бурых водорослей (Резников и Михасева, 1976; Sariñana-Aldaco et al., 2025), известных с кайнозоя. Бурые водоросли являются уникальной группой живых организмов, развившей настоящий многоклеточный план строения тела независимо от большинства других многоклеточных организмов. Состав продуктов пиролитической деструкции таломов бурых водорослей указывает на присутствие лигнина: идентифицированы фенолы и кислоты, которые относятся к *n*-кумаровым, гваяцильным и сиригильным структурным единицам лигнина. Сложный композиционный состав лигнина бурых водорослей был интерпретирован в рамках современной концепции биосинтеза лигнина без генетического контроля.

Исследования по хемосистематике палеозойских растений немногочисленны, не хватает вариаций структурного строения лигнина для таксономических выводов, необходимо создание баз данных строения лигнинов в различных филогенетических линиях палеозойских растений. С этой целью проведено изучение *Phylladoderma arberi* Zalesky — одного из растений-дериватов пермских углей Печорского бассейна. Выбор растения *P. arberi* для хемосистематических исследований обусловлен следующими факторами. Фитолеймы *P. arberi* почти целиком слагают так называемый филладодермовый уголь, маломощные прослои которого встречаются в средней и верхней частях тальбейской свиты в среднем течении р. Адзвы (бассейн р. Печоры). Несмотря на хорошую изученность Печорского угольного бассейна, начатую еще работами А. А. Чернова (Чернов, 1932), и промышленное освоение, растения-дериваты пермских углей с позиций хемосистематики ранее не изучались и в настоящее время представляют большой научный интерес.

Параллельно с фундаментальными исследованиями проводится поиск новых направлений практического использования этих результатов в народном хозяйстве, прежде всего в углехимии и медицине. Перспективы практических разработок мы связыва-

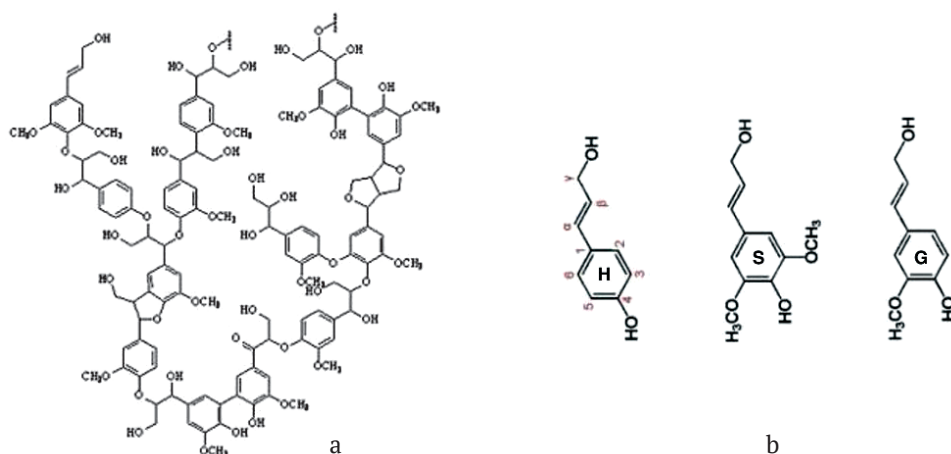


Рис. 1. Модель структуры (а) и основные структурные единицы лигнина (б)

Fig. 1. Model of the structure (a) and main structural units of lignin (b)



ем с исследованиями по созданию разнообразных продуктов и материалов на основе лигнинсодержащих веществ, обладающих широким спектром адсорбционных и антиоксидантных свойств (Karmanov et al., 2023).

Цель данной работы состояла в микроморфологическом исследовании (определение степени сохранности фоссилий) и структурно-химической характеристике органического вещества фитолейм *Phylladoderma arberi* Zalesky с позиций хемосистематики.

Объекты и методы исследований

Объект исследования. Бурые угли Печорского бассейна (Республика Коми) целиком сложены фитолеймами *Phylladoderma arberi* Zalesky (класс Gymnospermae, подкласс Ginkgoopsida, порядок Peltaspemales, семейство Cardiolepidaceae) — одного из растений-дериватов пермских углей. Это так называемый филладодермовый уголь (рис. 2), образующий маломощные прослои в средней и верхней частях филладодермовой толщи (верхи тальбейской свиты, печорская серия, гвадалупский ярус), обнажающейся по правому берегу р. Адзвы — правого притока р. Усы.

Материал собран Л. А. Фефиловой, год сбора — 1967, р. Адзва (бассейн р. Печоры), обн. 44/75, коллекция № 1001 Е. И. Полетаевой, ящик 16, хранится в Геологическом музее им. А. А. Чернова ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Для **физико-химических исследований** фитолеймы из исходного образца филладодермового угля отмывались от неорганической части (глина) дистиллированной водой в ультразвуковой ванне до прозрачности воды. Время отмывки подбиралось опытным путем. Общий вид фитолейм *P. arberi* (рис. 3) сфото-



Рис 2. Образцы филладодермового угля (р. Адзва, Печорский угольный бассейн, Геологический музей им. А. А. Чернова, ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, коллекция № 1001)

Fig. 2. Samples of Phylladoderma coal (r. Adzva, Pechora coal basin, Geological Museum named after A. A. Chernov, IG FRC Komi SC UB RAS, Syktvykar, collection No. 1001)

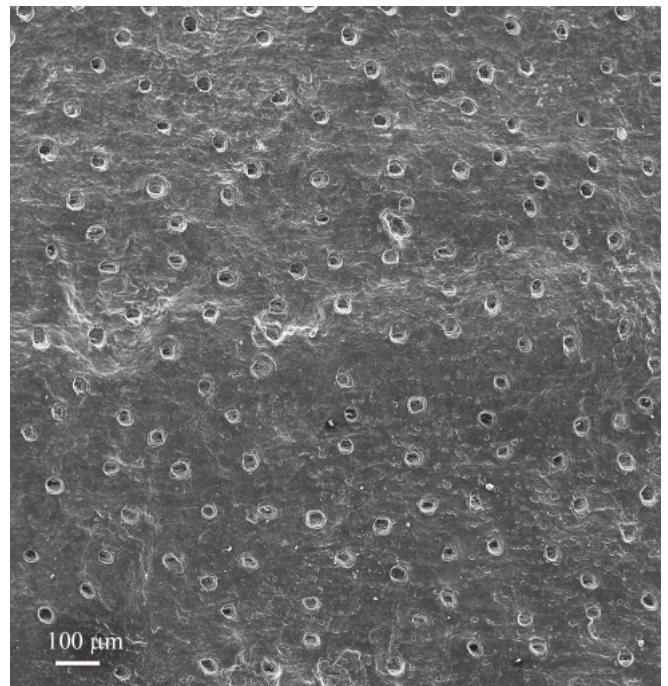


Рис 3. Внешняя поверхность кутикулы *Phylladoderma arberi* Zalesky в сканирующем электронном микроскопе

Fig. 3. The outer surface of the *Phylladoderma arberi* Zalesky cuticle as seen in a scanning electron microscope

графирован на СЭМ (TESCAN VEGA 3 с энергодисперсионной приставкой X-max 50 Oxford Instruments, рабочее напряжение 10 кВ).

Для **микроморфологических исследований** фитолеймы отделялись от общей массы угля с помощью скальпеля и иглы и затем подвергались стандартной процедуре мацерации: в течение трех — шести часов выдерживались в смеси Шульце (концентрированная азотная кислота + бертолетова соль) и промывались аммиаком для растворения углистого вещества. Из выделенных таким образом кутикул готовили препараты для изучения в световом микроскопе Amplival Karl Zeiss, а также в СЭМ JEOL JSM-35C и VEGA3 TESCAN.

Спектры электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) получены на радиспектрометре X-диапазона (9.4 ГГц) RadioPAN SE/X-2547 при комнатной температуре образца. Навеска препарата составляла ~ 20 мг. Спектры регистрировались в виде первой производной сигнала поглощения при частоте ВЧ модуляции 100 кГц. Обзорные спектры записывались в диапазоне поляризирующего магнитного поля 0–500 мТ с амплитудой ВЧ-модуляции 0.1 мТ при мощности СВЧ 20 мВт. Детальная запись линии углеродных радикалов производилась с разверткой величины поляризирующего магнитного поля 10 мТ с амплитудой ВЧ-модуляции 0.05 мТ при ненасыщающей мощности СВЧ 2 мВт. В качестве стандарта g-факторов и меры концентрации использовался эталонный образец ДФПГ ($g = 2.0036$, 1.96×10^{17} спин). Погрешность определения g-факторов — 0.0003, ширины линий — ± 0.01 мТ, относительной и абсолютной концентрации — 15 и 30 % соответственно.

Дериватография выполнялась на приборе синхронного термического анализа STA 449 F5 Jupiter ASC (NETZSCH, Германия). Условия съемки: нагрев со скоростью 10 °С/мин до 900 °С, атмосфера — воздух, скорость потока 50 мл/мин, корундовые тигли.

Состав летучих продуктов пиролиза образца изучали методом газовой хромато-масс-спектрометрии (Py-GC/MS) на газовом хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010 Plus с пиролизером EGA/PY-3030D (Frontier lab, Япония). Применяли режим плавного нагрева от 50 до 600 °C со скоростью 50 °C/мин. Образующиеся вещества отдували гелием и конденсировали при температуре –30 °C. Анализ продуктов пиролитической деструкции образцов проводили с использованием существующих библиотек масс-спектров. Оценка содержания низкомолекулярных продуктов пиролиза проводилась по площадям соответствующих им пиков на пиролитической газовой хроматограмме.

Результаты и их обсуждение

Морфология *P. arberi*. Листья простые, линейные или удлинённо-овальные, со сравнительно редкими параллельными жилками, сходящимися к верхушке, которая часто бывает выемчатой. Как правило, листья обладают толстой кутикулой, позволяющей детально исследовать их эпидермальную структуру. Эпидерма нижней стороны листа изогональная (рис. 4); клетки верхней эпидермы образуют более или менее отчётливые ряды (рис. 5, 6).

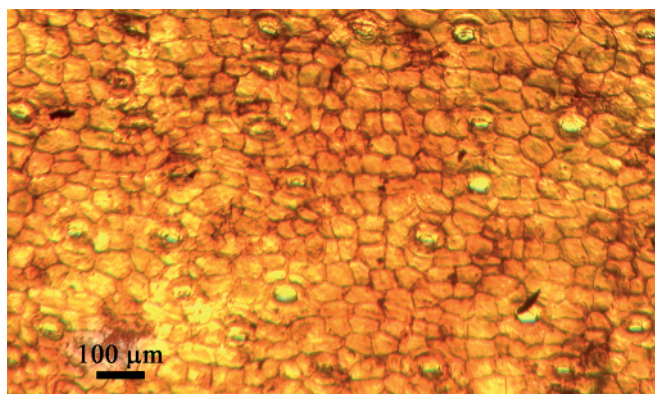


Рис 4. Кутикула нижней стороны листа *Phylladoderma arberi* Zalessky в световом микроскопе

Fig. 4. Cuticle of the underside of a *Phylladoderma arberi* Zalessky leaf as seen under a light microscope

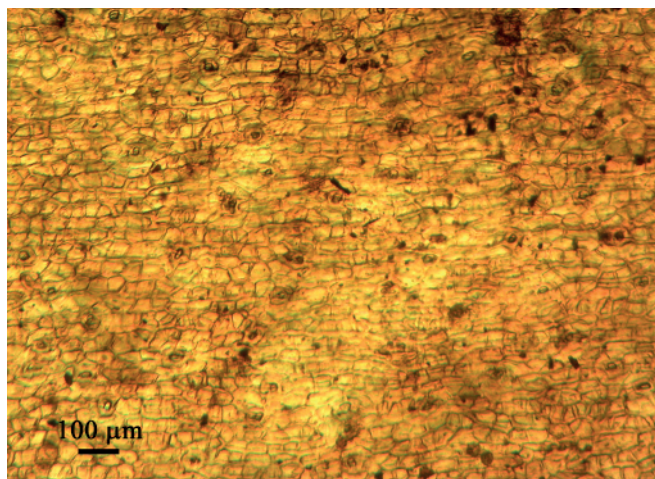


Рис. 5. Кутикула верхней стороны листа *Phylladoderma arberi* Zalessky в световом микроскопе

Fig. 5. Cuticle of the upper side of a *Phylladoderma arberi* Zalessky leaf as seen under a light microscope

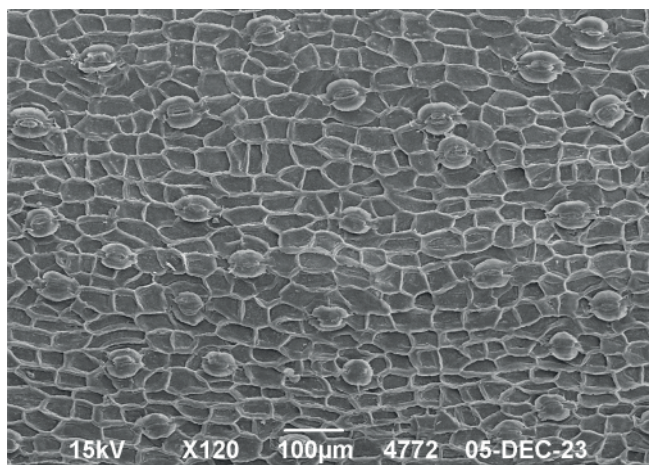


Рис. 6. Внутренняя поверхность кутикулы с верхней стороны листа *Phylladoderma arberi* Zalessky в сканирующем электронном микроскопе

Fig. 6. The inner surface of the cuticle on the upper side of the *Phylladoderma arberi* Zalessky leaf in a scanning electron microscope

Периклиналильные стенки покровных клеток гладкие. Устьица на обеих сторонах листа погруженные, многочисленные, расположены беспорядочно, ориентированы продольно или косо. Устьичные ямки овальные, как правило, с небольшим валикообразным утолщением кутикулы по краю (рис. 3). Замыкающие клетки крупные, сильно кутинизированные. Их полярные концы оттянуты в форме ласточкиных хвостов и, в отличие от боковых крыловидных расширений, отогнуты вверх (к поверхности листа) по бокам устьичной ямки (рис. 7). В мезофилле часто встречаются смоляные тельца и тяжи.

Морфологические наблюдения свидетельствуют о том, что фитолеймы *P. arberi* в процессе фоссилизации сохранили внешнее и внутреннее строение, что позволило сделать таксономическое определение фоссилий. Однако хорошо сохранившаяся морфология растительных фоссилий не всегда может свидетельствовать об отсутствии существенного преобразования органического вещества.

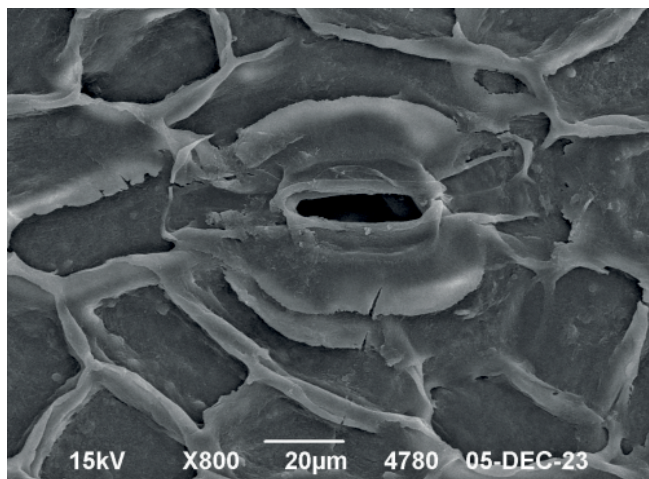


Рис. 7. Фрагмент эпидермы с устьицем *Phylladoderma arberi* Zalessky в сканирующем электронном микроскопе

Fig. 7. Fragment of epidermis with stoma of *Phylladoderma arberi* Zalessky in a scanning electron microscope



Результаты физико-химических исследований.

Обзорный спектр ЭПР образца исследуемого угля (рис. 8, а) содержит асимметричную линию с $g \approx 4.3$ и суперпозицию нескольких сигналов, центрированных относительно $g \approx 2.0$. Сигнал с $g \approx 4.3$ относится к изоморфным ионам Fe^{3+} в глинистых минералах (каолинит). Широкая полоса в области $g \approx 2.0$ происходит от примесей оксигидроксидов железа. На нее наложена секстетная структура с расщеплением 9.4 мТ, характерная для изоморфных ионов Mn^{2+} в карбонатах, и очень интенсивная узкая линия углеродных радикалов $\text{C}^\bullet$.

Линия углеродных радикалов имеет хорошо выраженную асимметричную форму с относительно уширенным низкополевым крылом (рис. 8, б). Средние измеренные значения $g_0 = 2.0033$ и ширина линии по точкам экстремумов $\Delta B_{pp} = 0.47$ мТ. Асимметрия может быть связана с аксиальной анизотропией g -фактора углеродного радикала: $g_{||} \approx 2.005$; $g_{\perp} \approx 2.003$. Учитывая сложный состав органического вещества исследуемого образца, маловероятно наличие в его структуре одного типа углеродных радикалов с анизотропным g -фактором.

Можно предположить, что в органической части присутствует несколько систем спинов углеродных радикалов. На рис. 8, б экспериментальный спектр аппроксимирован парой изотропных лоренцианов, различающихся шириной компонентов и — в меньшей степени — их g -факторами. Соотношение интегральных интенсивностей компонентов примерно 5:1. Компонент с большим интегральным вкладом ($\text{C}^\bullet_1$) характеризуется широкой линией с $\Delta B_{pp} = 0.544$ мТ и значением $g_0 = 2.0038$. Ширина линии второго компонента ($\text{C}^\bullet_2$) почти вдвое меньше ($\Delta B_{pp} = 0.264$ мТ), а значение $g_0 = 2.0030$ ближе к g -фактору свободного электрона (2.0023).

Понижение значения g -фактора и ширины линий углеродных радикалов фосилизированных растительных остатков связано с увеличением доли ароматических структур, ростом степени карбонатизации в ходе диагенеза органического вещества. Углеродные радикалы $\text{C}^\bullet$ отражают преобразование органического вещества с формированием изолированных ароматических структур ($\text{C}^\bullet_1$) и начало формирования протяженных полиароматических доменов ($\text{C}^\bullet_2$).

Расчет суммарной концентрации спинов (парамагнитных центров) методом двойного интегрирования линии стандартного образца ДФПГ и суммарного расчетного контура линии углеродных радикалов дает концентрацию спинов в навеске образца 1.3×10^{18} спин/грамм. Расчет концентрации спинов в органической части образца филладодермowego угля осуществляли с использованием данных, полученных методом дериватографии. Этот метод хорошо зарекомендовал себя для качественной и количественной оценки содержания органических веществ таких объектов, как почвы, торф, полимеры, горные породы и др. Согласно полученным данным (рис. 9), зольность исследуемого образца составляет 42.75 %. С учетом адсорбированной и химически связанной воды (~ 10 %) концентрация парамагнитных центров в органической части навески образца ~ 3×10^{18} спин/грамм.

Наличие в исследуемом образце филладодермowego угля продуктов трансформации протолигнина, относящихся к Н-, G- или S-структурам, определяли методом пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии.

При пиролизе образца угля всего образовалось 62 низкомолекулярных соединения, из которых 10 являются фенолами; 2 из этих фенолов размечаются одним пиком 6 (рис. 10). Идентифицированы следующие мажорные низкомолекулярные фенольные соедине-

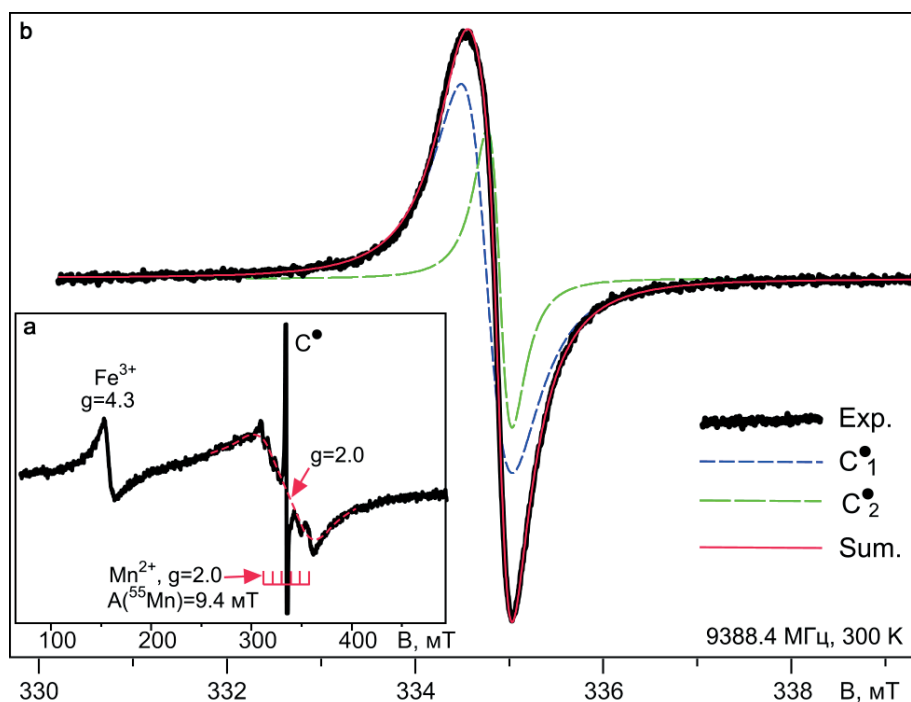


Рис. 8. Обзорный спектр ЭПР образца филладодермowego угля (а); форма линии углеродных радикалов и ее деконволюция (б): Exp. — экспериментальный спектр; $\text{C}^\bullet_1$ и $\text{C}^\bullet_2$ — лоренцевы составляющие; Sum — сумма компонентов

Fig. 8. General EPR spectrum of Phylladoderma coal sample (a); shape of carbon radical line and its deconvolution (b): Exp. — experimental spectrum; $\text{C}^\bullet_1$ and $\text{C}^\bullet_2$ — Lorentz components; Sum — sum of components

ния, относящиеся к п-кумаровому типу или Н-единицам лигнинов: фенол (пик 1 на хроматограмме), 2-метилфенол (пик 2), 4-метилфенол (пик 3), 2,6-диметилфенол (пик 4), 2,5-диметилфенол (пик 5), 2,4-диметилфенол + 2,3-диметилфенол (пик 6), 4-этилфенол (пик 7).

Также по библиотекам масс-спектров идентифицированы в следовых количествах (на хроматограмме не размечаются) 2,4,6-триметилфенол (следует отнести к фрагменту C_2-C_n' , C_6-C_n'' конденсированной

Н-структурной фенилпропановой единицы) и 4-пропенилфенол (следует отнести к фрагменту Н-структурной фенилпропановой единицы). Низкомолекулярные соединения гваяцильного (G) и сирингильного (S) типа в продуктах пиролиза отсутствуют. В целом полученный результат однозначно свидетельствует о существовании в растениях-дериватах пермских углей Печорского бассейна композиционно однородного протолигнина Н-типа, композиционный состав

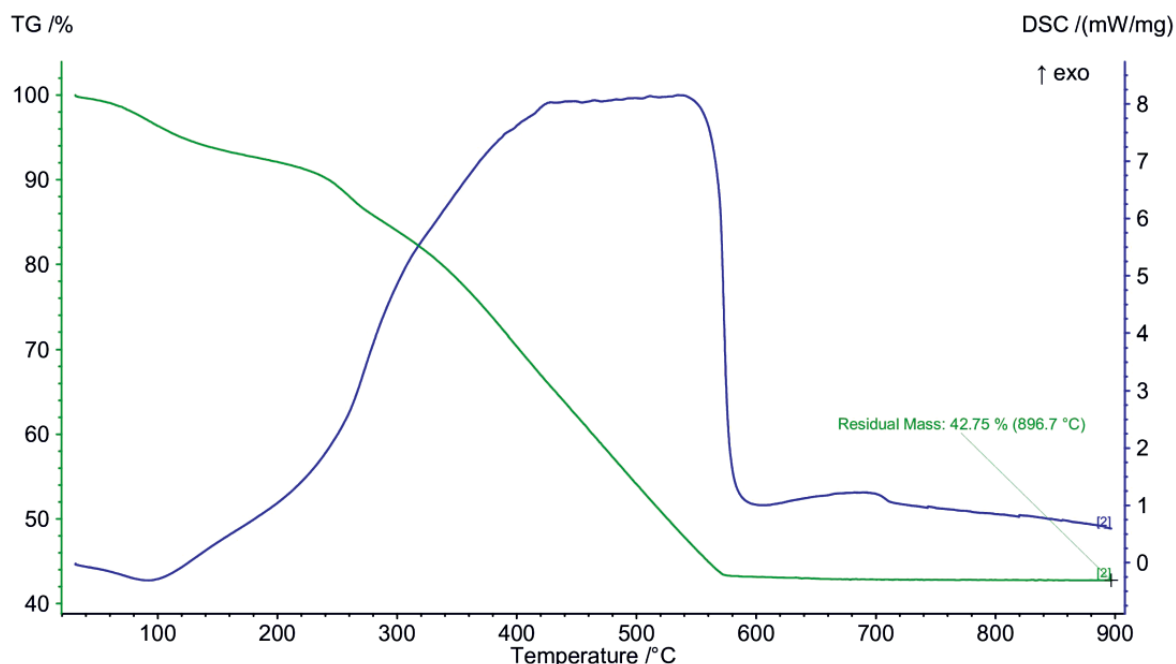


Рис. 9. Дериватограмма образца филладодермового угля

Fig. 9. Derivatogram of Phylladoderma coal sample

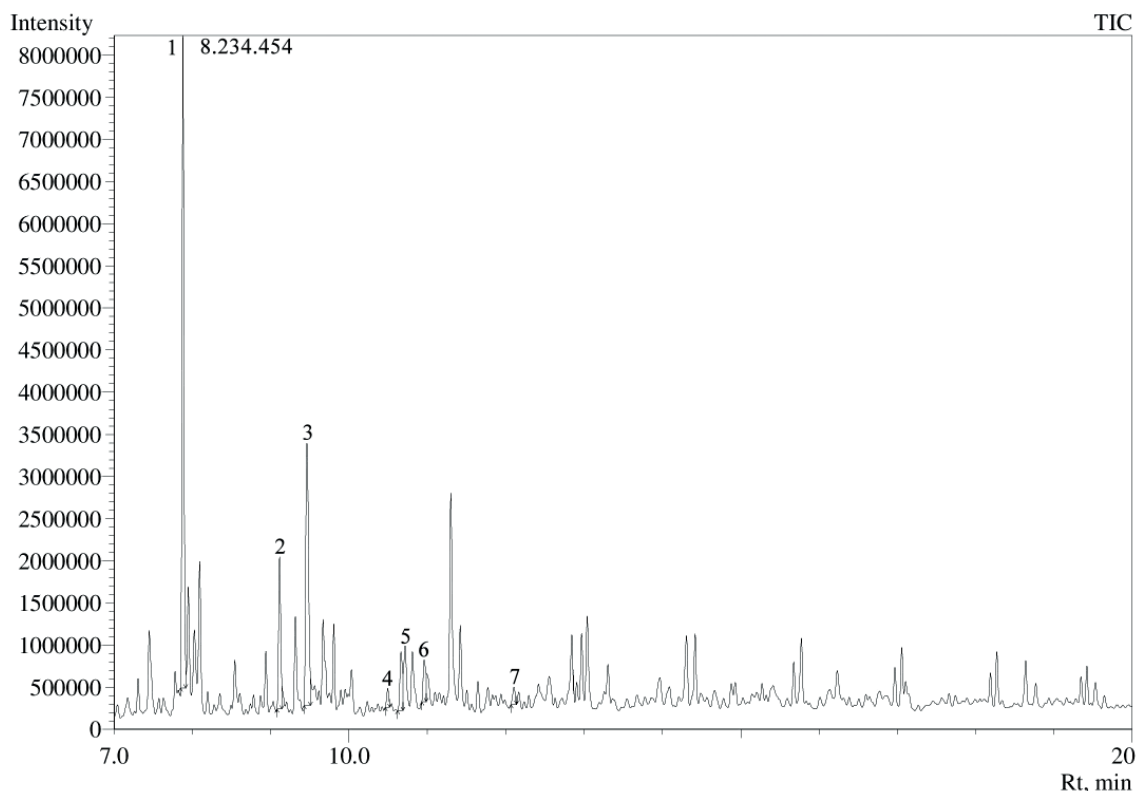


Рис. 10. Пиролитическая газовая хроматограмма образца филладодермового угля в области мажорных фенолов

Fig. 10. Pyrolytic gas chromatogram of Phylladoderma coal sample in the region of major phenols



которого можно представить как $H:G:S = 100:0:0$. Современные лигнины с таким композиционным составом неизвестны.

Подобные результаты были получены нами при изучении ряда фитофоссилий, в частности раннедевонских барзасских фитолейм *Orestovia*-подобных растений (Kocheva et al., 2026), углефицированных фрагментов позднедевонского археоптерисового (*Progymnospermopsida*) — *Callixylon* (Kocheva et al., 2019), раннекаменноугольных семян, извлеченных из пород турнейского возраста (~360 млн лет, формация Pease Bay) в северо-восточной части Шотландии (Kocheva et al., 2022).

Ранее нами была выдвинута гипотеза о том, что эволюция растительного мира сопровождалась усложнением химической структуры лигнинов. Это выражалось в первую очередь в увеличении степени метоксилированности фенилпропановых структур и появлением гваяцильных G- и сиригильных S-единиц. Процесс ранней углефикации связан, как известно, с преобразованием растительных остатков в условиях повышенных температур и давления, что может приводить к деградации боковых алифатических цепей ароматических соединений. Кроме того, при преобразовании лигнинсодержащих остатков в уголь анаэробные микробы «удаляют» метоксильные группы из ароматических G- и S-структур и превращают их в метан. После удаления $OSCH_3$ -групп на ароматическом кольце остаётся свободная валентность. Она заполняется гидроксильной группой, образуя фенольный гидроксил. В результате этого процесса гваяцильные структуры лигнина, которые, возможно, могли существовать в пермских растениях-дериватах, превращаются в соединения пироктехинового типа. В продуктах пиролиза такие соединения отсутствуют, что служит дополнительным аргументом в пользу отнесения протолигнина пермских растений-дериватов *P. arberi* к композиционно однородному лигнину H-типа.

На более поздних этапах углефикации, при переходе угля из стадии бурого в стадию длиннопламенного, возможно образование на ароматическом кольце свободных радикалов, которые легко вступают в реакции конденсации, сшивая между собой ароматические фрагменты. Это ведет к быстрому росту молекулярной массы, увеличению ароматичности и уплотнению структуры угля.

Заключение

Проведено изучение органического вещества фитолейм *Phylladoderma arberi* Zalesky, слагающих пермский филладодермовый уголь (Печорский угольный бассейн). Дано описание кутикулярной структуры *P. arberi*. Выполненные структурно-химические исследования показывают, что в изучаемом веществе фитолейм *P. arberi* присутствуют соединения ароматической природы, указывающие на наличие продуктов трансформации растительного биополимера лигнина, построенного из *n*-кумаровых единиц. Методом ЭПР-спектроскопии установлены значительная степень трансформации органического вещества, начало формирования областей концентрированных полиароматических структур. Методом пиролитической хромато-масс-спектрометрии установлена ароматическая при-

рода органического вещества, структурно близкого лигнину, построенного из *n*-кумаровых единиц. Это позволяет выдвинуть предположение о том, что древнейшие лигнины относились к композиционно однородным биополимерам H-типа. Для объяснения данного результата можно предложить следующие гипотезы:

- отсутствие генетического контроля над свободнорадикальной полимеризацией монолигнолов у древних растений, что приводило к образованию только H-структур;

- сходный механизм преобразования органического вещества растений-дериватов в процессе фоссилизации, что могло нивелировать исходные различия в составе лигнина и привести к деградации метоксильных групп с образованием H-структур;

- полуводные или водные условия произрастания растений-дериватов, где наличие воды служило механическим протектором и не стимулировало эволюционное усложнение лигнина до G- и S-типа.

Полученные результаты расширяют спектр физико-химических исследований, направленных на хемосистематическое изучение палеозойских фитофоссилий. Однако анализ результатов проведенных физико-химических исследований *Phylladoderma arberi* Zalesky в настоящее время не позволяет выявить эволюционные тренды лигнинов, то есть этот вопрос остается открытым.

Авторы выражают благодарность сотруднику ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН Е. М. Тропникову и сотруднику ИХ Коми НЦ УрО РАН к. х. н. В. А. Белому за помощь в проведении исследований.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (НИР) Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (тема № 122040600014-6, физико-химические исследования), Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (тема № 122040600024-5, структурные исследования) и Ботанического института РАН (тема № 124013100860-6, морфологические исследования) с использованием научного оборудования ЦКП «Геонаука» и ЦКП «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета.

Литература/References

- Лебедев В. Г., Шестибратов К. А. Генная инженерия биосинтеза лигнина в деревьях: компромисс между свойствами древесины и жизнеспособностью растений // Физиология растений. 2021. Т. 68(4). С. 339–355. DOI: 10.31857/S0015330321030106
- Lebedev V. G., Shestibratov K. A. Genetic engineering of lignin biosynthesis in trees: a compromise between wood properties and plant viability. Plant Physiology. 2021;68(4):339–355. Russian.
- Резников В. М., Михасева М. Ф. Лигнин низкоорганизованных растений. IV Отделение и исследование лигнина водорослей // Химия древесины. 1976. № 4. С. 76–79.
- Reznikov V. M., Mikhaseva M. F. Lignin of low-organized plants. IV Separation and study of algal lignin. Wood Chemistry. 1976;4:76–79. Russian.
- Чернов А. А. Стратиграфия и тектоника угольного района р. Адзвы в Печорском крае по исследованиям 1929 г. // Известия ВГРО. 1932. Т. 51. № 70. С. 1039–1051.

- Chernov A. A. Stratigraphy and tectonics of the coal region of the Adzva River in the Pechora region according to research in 1929. *Izvestiya VGRO*. 1932;51(70):1039–1051. Russian.
- Kocheva L. S., Karmanov A. P., Lutoev V. P., Shumilov I. K., Glukhov Y. V., Pokryshkin S. A. Structural and Chemical Features of Organic Matter in Carbonized Wood of the Devonian and Jurassic Periods. *Doklady Earth Sciences*. 2019;486(2):634–637. DOI: 10.1134/S1028334X19060059
- Karmanov A. P., Kocheva L. S., Rachkova N. G., Raskosha O. V. Lignins of various taxonomical origins: structural features, adsorption and antioxidant properties. *Iranian Polymer Journal*. 2023;53:102–848. <https://doi.org/10.1007/s13726-023-01210-8>
- Kocheva L. S., Karmanov A. P., Telnova O. P., Gomankov A. V., Lutoev V. P. Chemosystematic studies of Devonian coal-forming plants: Barzas *Orestovia*-like plants compressions. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2026;344:105452. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2025.105-452>.
- Kocheva L. S., Karmanov A. P., Telnova O. P., Marshall J. E. A., Lutoev V. P., Pokryshkin S. A. Structural and chemical features of seed fossils from Paleozoic and Mesozoic sedimentary strata. *Organic Geochemistry*. 2022;164:104–370. DOI: 10.1016/j.orggeochem.2022.104370Get
- Liu Z. H., Liu H., Xu T., Zhao Z. M., Ragauskas A. J., Li B. Z., ... & Yuan Y. J. Lignin valorization reshapes sustainable biomass refining. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2025;211:115–296.
- Peracchi L. M., Panahabadi R., Barros-Rios J., Bartley L. E., Sanguinet K. A. Grass lignin: biosynthesis, biological roles, and industrial applications. *Frontiers in Plant Science*. 2024;15:1343097. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1343097>
- Reyes-Rivera J., Solano E., Terrazas T., Soto-Hernández M., Arias S., Almanza-Arjona Y. C., Polindara-García L. A. Classification of lignocellulosic matrix of spines in Cactaceae by Py-GC/MS combined with omic tools and multivariate analysis: A chemotaxonomic approach. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2020;148:104–796. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104796>
- Sariñana-Aldaco O., Rivera-Solís L. L., Benavides-Mendoza A., Robledo-Olivo A., Rodríguez-Jasso R. M., González-Morales S. Using brown algae in the plant–soil system: A sustainable approach to improving the yield and quality of agricultural crops. *Horticulturae*. 2025;11(1):94. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11010094>
- Telnova O. P., Gomankov A. V., Kocheva L. S., Karmanov A. P. Results of Morphological and Physico-Chemical Investigations of Compressions of Ancient Coal-Forming Plants. *Paleontological Journal*. 2023;57(6):704–713. DOI: 10.1134/S0031030123060102
- Telnova O. P., Marshall J. E. A., Kocheva L. S., Karmanov A. P. Lignin of Ancient Plant Fossils. *Paleontological Journal*. 2022; 56(9):81–92. DOI: 10.1134/S0031030122090076
- Wan H., Liu Y., Yu C., Cao K., Han Y., Sun Z., Shi J., Duan X. Photo-promoted production of a new monophenolic compound from larch lignin with polyoxometalates supported on gC 3 N 4 under ambient conditions. *Green Chemistry*. 2025;27(20):5819–5831. <https://doi.org/10.1039/D5GC00692A>
- Yu X., Liang S., Zhang G., Li S., Huang H., Ma H. Sources, Reactivity and Burial of Organic Matter in East China Sea Sediments, as Indicated by a Multi-geochemical Proxy Approach. *EGU sphere*; 2025. p. 1–26. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-1976>
- Zheng X., Zhang X., Liu W., Jiang H., Zeng F. Lignin in fruits: Structure, function, and frontier perspectives on biosynthesis and regulation. *Food Research International*. 2025;225:117–943. DOI: 10.1016/j.foodres.2025.117943

Поступила в редакцию / Received 16.06.2026



Преобразование глинистых минералов почв при техногенном засолении на территории Серёговского соляного месторождения (Республика Коми)

Ю. С. Симакова, Т. П. Митюшева

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
yssimakova@rambler.ru

В рамках экогеологического мониторинга территории Серёговского месторождения каменной соли были проведены минералогические исследования почвенных профилей в районе засоления хлоридно-натриевыми рассолами. Показано влияние кратковременного техногенного загрязнения (засоления) на глинистые минералы почвы. Дана минералогическая характеристика почвенных профилей, сформировавшихся под действием природных процессов и преобразованных в результате локального засоления природной среды в зоне сброса рассолов на земную поверхность. Проведен сравнительный анализ глинистой составляющей почв на участке засоления и фоновом участке в районе скважины 2-ПС по наблюдениям 2005 и 2022 гг. Показано, что разбухающие слоистые силикаты почв при засолении могут менять структуру и образовывать неразбухающие смешанослойные фазы. Отмечено постепенное восстановление состава глинистых минералов почв после прекращения техногенного воздействия.

Ключевые слова: глинистые минералы, почвы, засоление территории, Серёговское месторождение каменной соли, дифрактометрия гли

Transformation of soil clay minerals under anthropogenic salinization at the territory of the Seregovskoe salt deposit (Komi Republic)

Y. S. Simakova, T. P. Mitiusheva

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

Mineralogical investigation of the soil profiles as part of the ecogeological monitoring of the Seregovskoe rock salt deposit territory is carried out. The effect of short-term anthropogenic pollution (salinization) on clay minerals in saline soils is demonstrated. A mineralogical description of soil profiles formed under the influence of natural processes and transformed as a result of environmental salinization in the zone affected by brine extraction at the Seregovskoe rock salt deposit is provided. A comparative analysis of changes in soil composition in the salinized area near borehole 2-PS is conducted based on observations in 2005 and 2022. The study of saline and background areas revealed that soil salinization has a clearly defined local nature and is confined to the brine drainage cone, not extending beyond it. It is shown that swelling of soil layered silicates can change their structure during salinization and form non-swelling mixed-layer phases. A gradual restoration of soil composition over time is noted.

Keywords: clay minerals, soils, salinization of the territory, Seregovskoe salt deposit, X-ray analysis of clays

Введение

Глинистые минералы осадочных бассейнов являются предметом исследований как индикатор геохимических особенностей процессов осадконакопления и постседиментационных процессов. Известно, что глины, будучи физико-химически активными системами, чутко реагируют на механические, физические и химические антропогенные воздействия (Соколова, 2005).

Засоление почв природного или техногенного генезиса на сегодняшний день является актуальной экологической проблемой. В настоящее время засоление

рассматривается как основной природный деградиционный процесс, ограничивающий плодородие почв, особенно на засушливых территориях (Панкова, 2015; Соколова, 2005; Vengosh, 2003). В связи с этим возникает необходимость в научных исследованиях процесса техногенного засоления почв, влияния водорастворимых солей на наземные экосистемы, а также скорости естественных процессов самовосстановления почв и биоты наземных экосистем. Поэтому необходим постоянный мониторинг засоления почв не только в России, но и в других странах мира, (Панкова, 2015; Vengosh, 2003).

Для цитирования: Симакова Ю. С., Митюшева Т. П. Преобразование глинистых минералов почв при техногенном засолении на территории Серёговского соляного месторождения (Республика Коми) // Вестник геонаук. 2026. 7(379). С. 39–47. DOI: 10.19110/geov.2026.7.4

For citation: Simakova Y.S., Mitiusheva T.P. Transformation of soil clay minerals under anthropogenic salinization at the territory of the Seregovskoe salt deposit (Komi Republic). Vestnik of Geosciences, 2026, 7(379), pp. 39–47. DOI: 10.19110/geov.2026.7.4

Загрязнение почвенного покрова легкорастворимыми солями не только ведет к угнетению растительности, микрофлоры почв и др., но и непосредственно влияет на минеральный состав и глинистую составляющую вещества почв. С точки зрения педогенеза первичные минералы отражают характеристики исходной материнской породы до почвообразования, а вторичные (в т. ч. глинистые) минералы отражают процесс формирования почвы и характеризуют плодородие почвы при деградации. Следовательно, минеральный состав почвы также рассматривается как потенциальный индикатор для оценки деградации почвы (Galvao et al., 2008; Wang et al., 2023). Кроме того, минералы являются важными компонентами твердой фазы почвы, взаимодействующими с органическим веществом, микроорганизмами и их межфазными реакциями. Влияние органического вещества почв является еще одним важным фактором трансформации глинистых минералов в условиях засоления (Франк-Каменецкий и др., 1983; Yaremchuk et al., 2025).

G. Andrade с соавторами отметили, что засоление тропических почв приводит к явным последовательным превращениям глинистых минералов в почвах (Andrade et al., 2020). Подобные реакции включают образование смешанослойных минералов в качестве переходных фаз между различными типами глинистых минералов по мере прогрессирующего засоления в почвенных системах. Предполагается, что превращение одного глинистого минерала в другой происходит не с полным растворением с последующим осаждением продуктов, а в виде трансформации и образования смешанослойных фаз. Уменьшение степени разбухания и, соответственно, степени иллитизации бентонитов в засоленной среде отмечено в работе M. Honty и др. (2004).

Внимание исследователей уделяется в основном поведению и трансформационным преобразованиям глинистых минералов в эвапоритовых толщах, где глинистые минералы в условиях изменяющихся физико-химических параметров становятся нестабильными и трансформируются, адаптируясь к новым условиям. Механизм этих превращений связан с дестабилизацией межслоевых промежутков структур глинистых минералов и образованием лабильных фаз. Главным фактором, вызывающим изменения в их составе и структуре, является концентрация рассолов, которая способствовала аккумулятивной трансформации глинистых минералов, превращению лабильных минералов в иллит и хлорит, стабильные в гиперсолёной среде (Yaremchuk et al., 2025).

К сожалению, сведения о составе глинистых минералов и их распределении по почвенному профилю в почвах солонцовых комплексов немногочисленны, встречаются и сообщения об изменении минерального состава засоленных почв (Behar, 1972; Алексеева и др., 2010; Соколова и др., 2005; Чижилова и др., 2016, 2017; Убугунов и др., 2018; Andrade, 2020 и пр.). Вместе с тем отмечено, что почвообразующие породы засоленных территорий имеют общие черты — гранулометрический состав почв и единую ассоциацию глинистых минералов, представленную, как правило, ди- и триоктаэдрическими слюдами, хлоритом, каолинитом и серией сложных неупорядоченных смешанослойных образований с сегрегацией пакетов разного типа (Чижилова, 2016).

В настоящем исследовании, в отличие от вышеупомянутых, рассматривается влияние относительно кратковременного техногенного воздействия (засоления) на сельскохозяйственные почвы, на глинистые минералы этих почв, а также процесс рассоления.



Рис. 1. Местоположение участка исследований на площади Сереговского месторождения каменной соли в районе села Серегово

Fig. 1. Location the studied area the Seregovskoe rock salt deposit in the area of the village of Seregovo



2000



2022

Рис. 2. Внешний вид площади засоления в районе скважины 2-ПС (в 2000 и 2022 гг.)

Fig. 2. Salinization area near the well 2-PS (in 2000 and 2022)

Характеристика участка исследований

Село Серёгово Республики Коми (рис. 1) расположено на берегу р. Вымь (правый приток р. Вычегды, бассейн р. Северная Двина) в пределах Мезенско-Вычегодской низменности Восточно-Европейской равнины. Абсолютные отметки поверхности земли варьируют от 72 до 146 м. Район исследований расположен в зоне средней тайги, характеризуется умеренно-континентальным климатом. В течение года выпадает значительное количество осадков (от 416 до 849 мм, среднее значение 550 мм), превышающее испарение.

Серёговское месторождение каменной соли приурочено к сводовой части Серёговской солянокупольной структуры и находится в юго-восточной части Вычегодского прогиба Мезенской синеклизы Русской плиты. Каменная соль, содержащая 46–99 % NaCl, залегает на глубинах более 216 м под толщей кепрока (Кальберг, 1962), предохраняющей ее от выщелачивания и растворения. Пермские карбонатные, терригенно-карбонатные породы в плане образуют узкие замкнутые кольцевидные полосы неравномерной ширины вокруг Серёговского соляного штока и частично выходят на поверхность. Четвертичные осадки мощностью от 0 до 93 м в зависимости от геоморфологических особенностей рельефа представляют сложно-построенный комплекс ледниковых и аллювиальных образований. Основу почвенного покрова в зависимости от положения в рельефе составляют подзолистые, болотно-подзолистые, пойменные дерновые и дерново-глеевые почвы (Экогеологическая..., 2006). На большей части данной территории развиты почвы вторичного происхождения, они сформировались в результате многолетней распашки и окультуривания почв после сведения темнохвойных лесов.

Основные источники техногенного загрязнения связаны с наличием в окрестностях с. Серёгово солеваренного завода. Эксплуатационные скважины (3-Э, 4-Э, 1-ПС и 2-ПС), рассолопроводы, промышленная площадка и хвостохранилище солезавода являются источниками загрязнения окружающей среды хлоридами и комплексом макро- и микроэлементов, содержащихся в насыщенных рассолах. Серёговское месторож-

дение каменной соли разрабатывалось с 1955 по 2000 г. методом подземного выщелачивания соли, в настоящее время законсервировано.

Вследствие несоблюдения природоохранных требований значительное загрязнение поверхности земли происходило в период подготовки скважин к эксплуатации. В 1987 г. при формировании камеры выщелачивания в толще каменной соли на эксплуатационной скважине 2-ПС (глубина 680 м) производился сброс насыщенных хлоридно-натриевых рассолов с минерализацией ~ 300 г/л на рельеф через систему двух отстойников, расположенных ниже по склону купола на террасовой площадке, что привело к засолению почв и усыханию древесно-кустарниковой растительности по стоку, пастбищной депрессии (рис. 2). Следует отметить, что к 2022 г. растительность на месте сброса рассолов практически полностью восстановилась до исходного состояния. Площадь локального загрязнения составила 0.23 км². Максимальное засоление грунтов в 1997 г. зафиксировано в участках аккумуляции склонового стока, где почвогрунты (глубина отбора пробы 0.3 м) содержали до 7.4–8.3 г растворимых солей в 100 г породы (Лапицкая, 2002). В 2005 г. почва данного участка по-прежнему сохраняла признаки значительного хлоридно-натриевого засоления (до 6.7 г растворимых солей в 100 г породы), в составе водных вытяжек также преобладали ионы натрия и хлора, причем их абсолютное содержание снижалось в нижних горизонтах (Экогеологическая..., 2006).

Материалы и методы

В 2004–2005 гг. детальные исследования были проведены на участке рядом со скважиной 2-ПС в целях определения и оценки степени воздействия сброса рассолов на почву и растительность, грунтовые воды, динамику процессов техногенного засоления, пути движения водорастворимых элементов в ландшафтах (Экогеологическая..., 2006). Были заложены почвенные профили для морфологического описания почв и отбора проб по двум разрезам от вершины купола и до его подножия на территории засоления в районе скважины 2-ПС. Условно выделены «чистый» (неза-



грязненый, «фоновый») участок Р-7 и техногенно-преобразованный (засолённый) участок Р-9 (рис. 1). Было установлено, что с 1997 по 2005 г. произошло снижение степени засоления почвенного покрова на данном участке из-за вымывания легкорастворимых солей за счет движения почвенно-грунтовых вод, разбавленных атмосферными осадками, с постепенной миграцией водорастворимых компонентов с поверхностным и внутрипочвенным стоком вниз по склону (рис. 2). Отмечено значительное увеличение содержания ионов Na^+ и Cl^- в почве засоленного участка по данным химического анализа водных вытяжек из образцов почвы фонового и засоленного участков. Концентрация этих элементов была максимальной в поверхностном слое почвы (0–25 см), при этом наблюдалось её превышение почти в 400 раз по Cl и в 150 раз по Na относительно фонового участка.

В 2022 г. при проведении мониторинга состояния окружающей среды на Сереговском месторождении каменной соли были отобраны пробы из почвенных разрезов Ш-2 и Ш-1. Их местоположение примерно соответствует фоновому Р-7 и засоленному Р-9 разрезам на выровненном террасовидном выступе в верхней части склона, сложенного моренными суглинками печорского горизонта, ниже скважины 2-ПС. В фоновом профиле образцы отбирались до глубины 60 см, в засоленном — до 100 см (табл. 1).

В профиле исследованных почв, ранее Е. М. Лаптевой диагностированных как торфяно-глеевые (Экогеологическая..., 2006), были выделены: $A_{\text{дер}}$ (0–5(10) см) — дерновый горизонт темно-коричневого

цвета с рыжими пятнами; темно-коричневый, почти черный торфяной горизонт Т (5(6) — 20(28) см), плотный, с обломками до 6 см выветрелого известняка; легкосуглинистый горизонт ВГ (до 115 см) неоднородной окраски (в основном коричневый, с синевато-серыми и ржавыми пятнами), плотный, влажный, комковатый, трещиноватый, с обломками и валунами различных горных пород (в основном известняка) размером до 20 см. Наличие карбонатных пород в почвах свидетельствует о периодическом застое влаги на контакте с иллювиальным горизонтом, который в силу своего тяжелого гранулометрического состава служит в весенний и осенний периоды временным водоупором. Другим источником карбонатов в почвах могут быть «захваченные» мореной известняки пермского возраста, окаймляющие шток каменной соли. В 2005 г. в почвенном разрезе Р-9 засоленного участка вода хлоридного кальциево-натриевого состава с минерализацией 11 г/л установилась на глубине 80 см; в 2022 г. разрезы сухие.

Из полученных образцов отмучиванием выделена глинистая фракция (< 0.005 мм), ориентированные образцы которой были приготовлены по стандартной методике (Moore, Reynolds, 1997). Рентгенофазовый анализ неориентированных и ориентированных препаратов выполнен на рентгеновских дифрактометрах Shimadzu XRD-6000 ($\text{CuK}\alpha$, Ni-фильтр, 30 кВ, 20 мА) и Haoyuan DX-2700 ВН ($\text{CuK}\alpha$, SDD-детектор, 40 кВ, 30 мА). Области сканирования 2θ : 2–26 и 2–52° для ориентированных образцов. Анализировался минеральный состав образцов в ориентированных препаратах.

Таблица 1. Химический состав глинистой фракции почв по данным РФА, % (Симакова, Митюшева, 2025)

Table 1. Chemical composition of soil clay fraction by XRF data, % (Simakova, Mitiusheva, 2025)

Компонент Component	Номер образца (интервал опробования, см) Number of the sample (approbation interval, cm)							
	почвенный разрез засоленного участка soil profile of a saline site					фоновый почвенный разрез background soil profile		
	Ш 1-1 (5–10)	Ш 1-2 (10–25)	Ш 1-3 (25–50)	Ш 1-4 (50–70)	Ш 1-5 (70–100)	Ш 2-1 (0–20)	Ш 2-2 (20–40)	Ш 2-3 (40–60)
SiO_2	57.98	57.58	56.99	56.23	55.13	62.37	60.53	60.18
TiO_2	0.77	0.74	0.67	0.65	0.63	0.73	0.71	0.70
Al_2O_3	21.62	21.60	20.69	20.40	20.88	19.57	22.42	22.40
Fe_2O_3 общ	6.95	7.77	6.58	6.28	6.74	7.11	6.73	6.85
MnO	0.08	0.10	0.17	0.15	0.11	0.18	0.13	0.11
MgO	3.55	3.55	4.25	4.47	4.81	2.86	3.71	3.69
CaO	3.28	3.18	5.86	6.95	6.72	2.37	1.60	1.60
Na_2O	0.77	0.69	0.67	0.64	0.69	0.59	0.43	0.53
K_2O	3.59	3.57	3.58	3.64	3.61	3.65	3.61	3.81
P_2O_5	0.39	0.35	0.17	0.18	0.19	0.37	0.13	0.14
SO_3 общ	0.42	0.25	<0.1	<0.1	<0.1	0.19	<0.1	<0.1
Cl	0.59	0.63	0.38	0.41	0.50	не обн.	не обн.	не обн.
Сумма / Sum	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Total								

Примечание: во всех образцах отмечены следы Zn, Cu, Cr, Ni, Zr, Sr, Rb

Note: traces of Zn, Cu, Cr, Ni, Zr, Sr, and Rb are in all samples.



ратах в воздушно-сухом состоянии и после насыщения этиленгликолем, а также в неориентированных препаратах в области сканирования $2\theta = 55-65^\circ$ для определения положения рефлекса 060. Для моделирования дифракционных профилей смесей глинистых минералов в ориентированных образцах и определения на его основании количественного содержания фаз была использована программа Sybilla.

Химический состав глинистой составляющей пород был определен с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на волновом спектрометре Shimadzu XRF-1800 (аналитик С. Т. Неверов). Все аналитические работы проводились в ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Результаты и обсуждение

По результатам рентгенофазового анализа преобладающими минералами во всех образцах глинистой фракции являются упорядоченные и неупорядоченные смешанослойные иллит/сметитовые, хлорит/сметитовые и иные образования, в меньшей степени — смектит, ди- и триоктаэдрический иллит, Mg-хлорит, каолинит.

Диоктаэдрический иллит диагностирован по наличию рефлексов в области 10–10.2, 5.0, 3.34 и 1.54 Å. Триоктаэдрический иллит представлен, по-видимому, глауконитом, присутствует в небольшом количестве и диагностирован по рефлексу 060–1.511 Å.

Хлорит определен по наличию рефлексов в области 14, 4.74 и 3.53 Å, которые не меняют положения

при насыщении образцов этиленгликолем. Интенсивности базальных отражений хлорита 001 и 002 схожи, что свидетельствует об относительно высоком содержании Mg в хлорите.

Каолинит установлен по наличию рефлексов в области 7.1, 3.57 и 1.49 Å. Насыщение образцов этиленгликолем не приводит к изменениям межплоскостных расстояний.

Собственно смектит диагностирован по базальным рефлексам с $d/n \sim 14.3-15.0$ Å, смещающимся при насыщении этиленгликолем до 17.1–17.3 Å.

Иллит/сметит с различным содержанием разбухающего компонента диагностируется на дифракционных картинах по несколько уширенным нецелочисленным рефлексам 13–16 Å в воздушно-сухих препаратах после насыщения этиленгликолем, смещающимся до 15–18 Å. При этом наблюдается «мостик» в интервале 10–15 Å.

Для выявления и оценки степени воздействия раскислителей на почвы, их минеральный состав, динамику процессов самовосстановления проведено сопоставление результатов исследований 2005 и 2022 гг.

По данным исследований 2005 г., в нижних глеевых почвенных горизонтах при общем уменьшении содержания водорастворимых солей в водных вытяжках отмечено перераспределение состава катионов: рост доли натрия за счет существенного снижения части кальция и магния (Экогеологическая..., 2006).

Выявленное засоление почв проявилось в изменении минералогии их глинистой составляющей. Образцы почвы фонового участка Р-7 в 2005 г. харак-

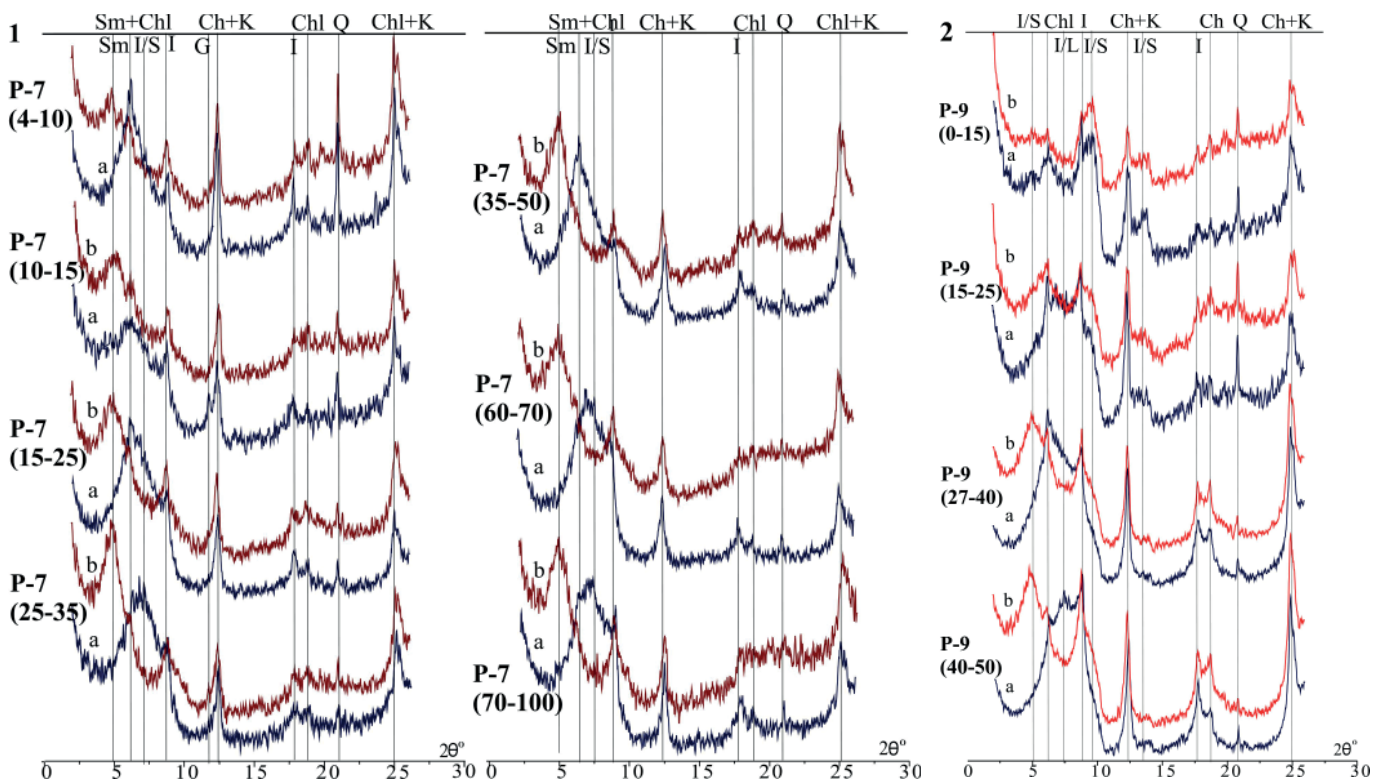


Рис. 3. Дифрактограммы ориентированных препаратов глинистой фракции фонового почвенного профиля Р-7 (1) и засоленного почвенного профиля Р-9 (2): а — воздушно-сухих и б — насыщенных глицирином. Sm — смектит, I/Sm — смешанослойный иллит/сметит, Chl — хлорит, I/L — смешанослойная фаза, Q — кварц, I — иллит, K — каолинит, G — гипс

Fig. 3. X-ray diffraction patterns of oriented clay samples of background soil profile R-7 (1) and salinized soil profile R-9 (2): a — air-dried, b — glycolated. Sm — smectite, I/Sm — illite/smectite, Chl — chlorite, I/L — interstratified mineral, I — illite, O — quartz; K — kaolinite, G — gypsum

теризуются значительным содержанием иллита и смешанослойного иллит/сметкита (рис. 3), в меньшем количестве присутствовали Fe-хлорит и каолинит. Диффузная форма рефлексов иллит/сметкита, уменьшение их интенсивностей на дифрактограммах при поверхностных образцов свидетельствует об уменьшении упорядоченности разбухающих глинистых минералов ближе к поверхности почвы. Смешанослойные фазы содержат различное количество иллитовых слоёв и характеризуются первым межплоскостным расстоянием, варьирующим в интервале 12.3–14.3 Å в воздушно-сухом состоянии и 17.7–18.0 Å — в гликолизированном. Хлорит содержится в образцах фонового участка (Р-7) в небольшом количестве, минерал равномерно распределён по всему профилю, диагностируется по рефлексам 14.2–14.7 Å и 4.72–4.75 Å в гликолизированных препаратах. Во всех образцах содержатся рентгеноаморфные соединения железа, что выражается в высоком фоне дифрактограмм и влияет на качество диагностики.

В почвах *загрязненного (засоленного)* участка (разрез Р-9) отмечено преобладание неупорядоченных смешанослойных фаз, образовавшихся при деградации иллита, сметкита и хлорита (рис. 3). Глинистые минералы в значительной степени изменены. Структурная разупорядоченность этих фаз находит выражение в диффузной форме дифракционных рефлексов глинистых минералов. Количество разбухающей составляющей смешанослойных образований уменьшается от верхних частей разреза к нижним. Судя по тому, что смешанослойные минералы не образуют отдельные нецелочисленные рефлексы (скорее сплошные дифракционные полосы в интервале $d/n \sim 17\text{--}11$ Å в воздушно-сухом состоянии и 20–14 Å в гликолизированном соответственно), они представляют собой комплекс неупорядоченных образований с различными межплоскостными расстояниями.

В отличие от фонового разреза минералогия глинистой фракции почвы засоленного профиля характеризуется деградацией слоистых силикатов в смешанослойные слабоупорядоченные фазы, часто неразбухающие либо разбухающие незначительно. Эти сложно диагностируемые смешанослойные образования предположительно являются иллит/хлоритами или иллит/сметкит/хлоритами. На дифрактограммах они характеризуются диффузными рефлексами с межплоскостным расстоянием $\sim 13.5\text{--}14.2$ Å в воздушно-сухом состоянии и менее интенсивными — с $d/n \sim 15.4\text{--}17.6$ Å — в гликолизированном.

Кроме того, основные отражения сопровождаются малоинтенсивными нецелочисленными рефлексами, также меняющими своё положение при насыщении органическими жидкостями. Диффузные «горбы», иногда появляющиеся на дифрактограммах вместо отдельных пиков глинистых минералов, относятся к неупорядоченным смешанослойным фазам, обычно образующимся при активном вторичном преобразовании пород. Засоление почвы в данном случае обуславливает нестабильность сметкитовых межслоевых промежутков.

С глубиной в разрезе закономерно уменьшается содержание каолинита. К отличительным особенностям засоленного участка следует отнести появления рефлексов галита, лепидокрокита и, в некоторых образцах, малоинтенсивных рефлексов водных сульфатов.

Минералогия глинистой фракции почвенных профилей, заложенных в 2022 г. приблизительно на тех же участках, что и в 2005 г., несколько отличалась от описанной выше.

Почвенные профили условно-засоленного (Ш-1) и фонового (Ш-2) участков показали почти полную идентичность как по фазовому составу, так и по соотношению слоистых силикатов. На дифрактограммах «условно-засоленных образцов интенсивное отражение 001 иллит/сметкита + сметкита варьирует в интервале 13.5–15.2 Å в воздушно-сухом состоянии и смешивается до 17.3 Å при насыщении этиленгликолем. На дифракционных кривых образцов фонового профиля не менее интенсивное первое отражение иллит/сметкита+сметкита меняется в пределах 14.6–15.1 Å и 17.1–17.6 Å соответственно. По данным моделирования дифракционных профилей, различия минералогического состава глинистой фракции почв фонового и условно-засоленного участков состоят в меньшем содержании и закономерном уменьшении количества смешанослойного иллит/сметкита в последнем (рис. 4).

Согласно результатам полуколичественного анализа (рис. 5) содержание смешанослойного иллит/сметкита в образцах фонового профиля колеблется в пределах 15–40 %, постепенно уменьшаясь с глубиной. Соответственно возрастает количество сметкита (18–55 %). Содержание прочих глинистых минералов в почве стабильно и меняется по профилю незначительно: хлорита — 4–6 %, иллита — 16–22 %, каолинита — 10–13 %. При этом в образцах «условно-засоленного» участка распределение этих минералов примерно такое же. Разбухающие слоистые силикаты равномерно распределены по засоленному профилю: смешанослойный иллит/сметкит — 45–55 %, сметкит — 12–18 %.

По данным рентгенофлуоресцентного анализа (табл. 1), химический состав глинистой фракции почв фонового и засоленного профилей сходен. Тем не менее почвы условнозасоленного участка характеризуются несколько повышенным содержанием Na, Cl и S по сравнению с фоновым, хотя фазы, содержащие эти элементы, не диагностируются. Повышенное содержание Mg в нижней части шурфа Ш-1 обусловлено повышением относительного содержания хлорита в образцах, а Ca — по-видимому, рассеянными в толще обломками карбонатных пород. Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что за последние 17 лет засоленность почв значительно уменьшилась, минеральный состав пород почвенного профиля приблизился к естественному (фоновому), влияние техногенного засоления сведено к минимуму.

Лабильная структура разбухающих слоистых силикатов может служить индикатором влияния засоления на почвенный профиль наряду с составом растительности и другими критериями.

На примере рассмотренного нами материала можем наблюдать влияние относительно кратковременного техногенного события (сброса насыщенного раствора на земную поверхность), время появления которого точно известно, на окружающую среду в целом и на почву в частности. Это влияние выражается в изменении как растительного покрова, так и минеральной составляющей почв, а точнее глинистых минералов.

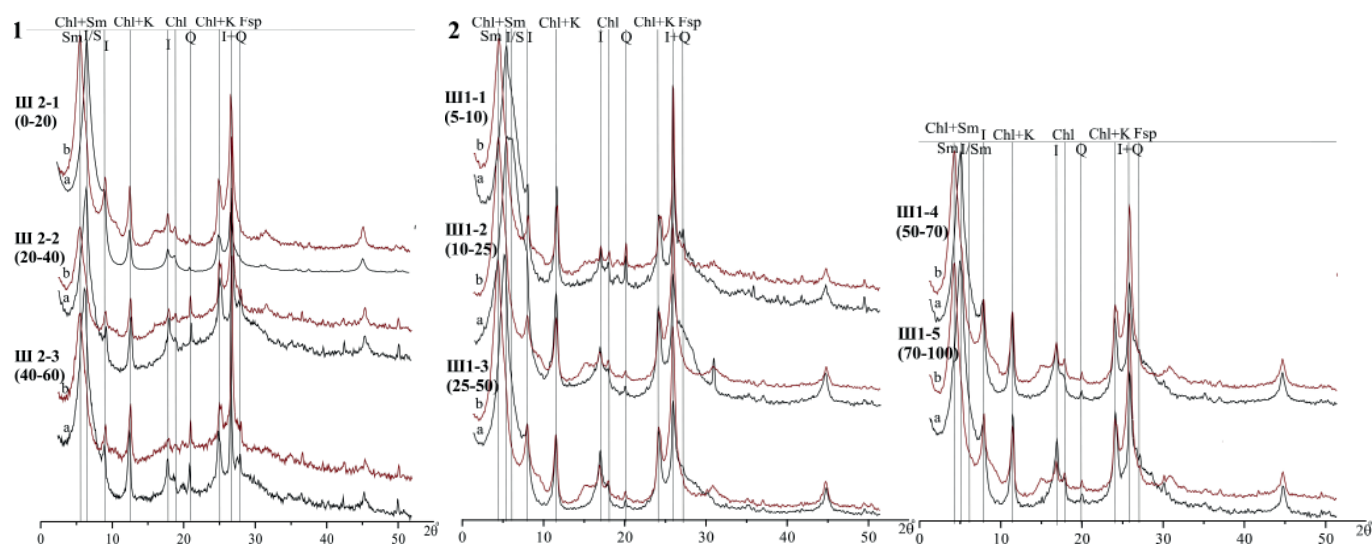


Рис. 4. Дифрактограммы ориентированных препаратов глинистой фракции незасоленного (фоновое) почвенного профиля Ш-2 (1) и условно-засоленного почвенного профиля Ш-1 (2): а — воздушно-сухих и б — насыщенных этиленгликолем. Sm — смектит, I/Sm — смешанослойный иллит/смектит, Chl — хлорит, Q — кварц, I — иллит, K — каолинит, Fsp — полевои шпат

Fig. 4. X-ray diffraction patterns of oriented clay samples of background soil profile Sh-2 (1) and salinized soil profile Sh-1(2): a — air-dried, b — glycolated. Sm — smectite, I/Sm — illite/smectite, Chl — chlorite, I — illite, O — quartz; K — kaolinite, Fsp — feldspars

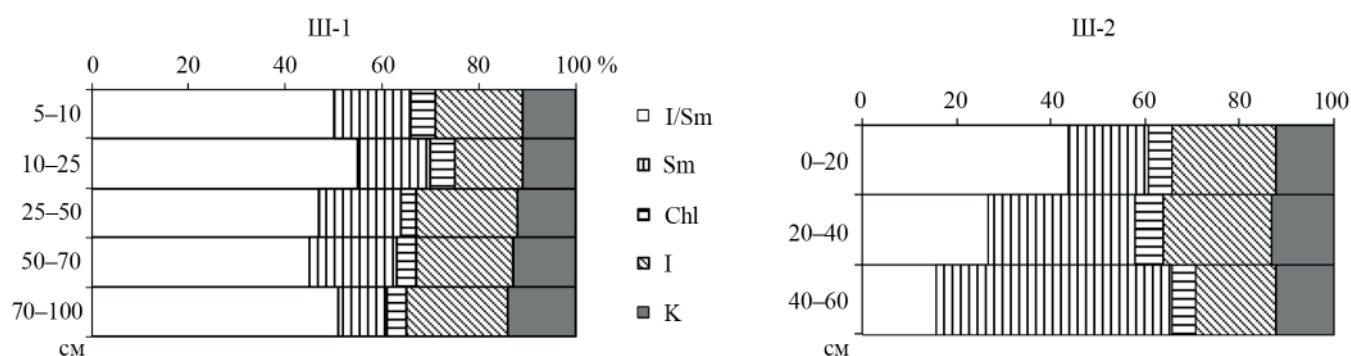


Рис. 5. Содержание глинистых минералов в почвенных профилях Ш-1 и Ш-2, %. I/Sm — иллит/смектит, Sm — смектит, Chl — хлорит, I — иллит, K — каолинит (Симакова, Митюшева, 2025)

Fig. 5. Content of clay minerals in soil profiles Sh-1 and Sh-2, %. Sm — smectite, I/Sm — illite/smectite, Chl — chlorite, I — illite, K — kaolinite (Simakova, Mitiusheva, 2025)

Заклучение

Глинистые минералы почв могут быть индикатором степени засоления, демонстрируя уменьшение разбухающих слоистых силикатов в разрезе под действием хлоридно-натриевых рассолов по сравнению с незасоленными почвами.

Установлено, что минеральный состав глинистой фракции почв чутко реагирует на их засоление, что выражается в изменении межплоскостных промежутков разбухающих глинистых минералов почвенного профиля и преобразовании разбухающих (смектитовых) фаз в смешанослойные минералы. При этом могут образовываться сложные труднодиагностируемые неразбухающие или слаборазбухающие фазы (предположительно иллит/смектит/хлориты).

Многолетние наблюдения природной среды на территории Серёговского месторождения каменной соли демонстрируют изменение состава глинистых минералов в разрезе почв на засоленном участке. В то же время фиксируется самовосстановление почвы (вклю-

чая превращения глинистого состава) и растительности.

Снижение или устранение техногенной нагрузки (засоления) приводит к постепенному выносу подвижных ионов Na^+ и Cl^- из почвенного слоя и, соответственно, восстановлению структуры исходных глинистых минералов. Наряду с растворением и выносом солей в ходе диффузионного выщелачивания происходит ионный обмен с вытеснением иона Na^+ из обменного комплекса структуры слоистых силикатов и относительно быстрое восстановление исходного состава глинистой составляющей почвы.

На примере территории Серёговского месторождения каменной соли имеется возможность наблюдать возникновение локального засоления на землях сельскохозяйственного назначения, изменение растительности и состава почв за относительно короткий период времени и минимизацию влияния техногенного события на окружающую среду. Ореол загрязнения располагается на склоне террасы, что благоприятствует миграции

подвижных легкорастворимых элементов от места сброса рассолов в нижние части рельефа. Относительная однородность почвенного слоя также способствовала его почти полному рассолению в течение небольшого временного интервала. Таким образом, здесь имеет место процесс самовосстановления природной среды (рассоления), обусловленный природно-климатическими условиями, типом почвы, возможностью выноса загрязняющих элементов (солей). Для проведения эффективной рекультивации засоленных участков необходимо учитывать площадь, рельеф, режим увлажнения, химический состав загрязняющих веществ, степень засоления и физико-механические свойства почв.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (темы НИР № 122040600009–2 и 122040600011–5).

Литература / References

- Алексеева Т. В., Алексеев А. О., Демкин В. Д., Алексеева В. А., Соколовская З., Хайнс М., Калинин П. И. Физико-химические и минералогические признаки солонцового процесса в почвах Нижнего Поволжья в позднем голоцене // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1171–1189. Alexseeva T. V., Alekseev A. O., Demkin V. D., Alekseeva V. A., Sokolovska Z., Heins M., Kalinin P. I. Physico-chemical and mineralogical features of the solonetz process in the soils of the Lower Volga region in the late Holocene. Soil Science. 2010;10:1171–1189. Russian.
- Кальберг Э. А. Сереговский соляной купол // Материалы по геологии и полезным ископаемым северо-востока европейской части СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1962. Вып. 2. С. 49–59. Kalberg E. A. Seregovsky salt dome. Materials on the geology and mineral resources of the North-East of the European part of the USSR. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1962;2:49–59. Russian.
- Лапицкая В. Ф. Изменение геологической среды под воздействием Сереговского рассолопромысла // Южные районы РК: геология, минеральные ресурсы, проблемы освоения: Материалы Третьей Всерос. научн. конф. Сыктывкар, 2002. С. 220–222. Lapitskaya V. F. Changes in the geological environment under the influence of the Seregovsky brine field. Southern regions of the Republic of Karelia: geology, mineral resources, development problems. Proceedings of the Third All-Russian scientific conf. Syktyvkar; 2002. p. 220–222. Russian.
- Панкова Е. И. Засоленные почвы России: решенные и нерешенные проблемы // Почвоведение. 2015. № 2. С. 131–144. DOI: 10.7868/S0032180X15020094 Pankova E. I. Saline soils of Russia: solved and unsolved problems. Soil Science. 2015;2:131–144. Russian.
- Рассказов А. А. Минералы глин калиеносных отложений (район Старобинского месторождения). М.: Наука, 1984. 72 с. (Тр. / ГИН АН СССР; Вып. 381). Rasskazov A. A. Clay minerals of potassium-bearing deposits (area of Starobinsky deposits). Moscow: Nauka, 1984. 72 p. (Proceedings of the Geological Institute of the USSR Academy of Sciences, vol. 381). Russian.
- Симакова Ю. С., Митюшева Т. П. Влияние засоления на глинистые минералы почв на территории Серёговского соляного месторождения Республики Коми // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: Тр. X Всерос. симпозиума и XVII Всерос. чтений памяти акад. А. Е. Ферсмана, 2025. С. 111–115. Simakova Y. S., Mityusheva T. P. Salinization influence on soil clay minerals at the Seriogovskoe salt deposit in Komi Republic. Mineralogy and geochemistry of mining landscapes. Rational nature management. Modern mineral formation: materials of 10th All-Russian Symposium and 17th All-Russian Readings in Memory of Academician A. E. Fersman; 2025. p. 111–115. Russian.
- Соколова Т. А., Дронова Т. Я., Толпешта И. И. Глинистые минералы в почвах. Тула: ГрифиК, 2005. 336 с. Sokolova T. A., Dronova T. Ya., Tolpeshta I. I. Clay minerals in soils. Tula: Grif i K.; 2005. 336 p. Russian.
- Убугунов В. Л., Хитров Н. Б., Чижикова Н. П., Убугунова В. И., Варламов Е. Б., Жамбалова Д. А., Четко Е. С. Свойства и минералогический состав темногогумусовой квазиглеевой солончаковой солонцеватой криотурбинированной мерзлотной почвы Баргузинской котловины (Бурятия) // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 62–94. DOI: 10.19047/0136-1694-2018-92-62-94 Ubugunov V. L., Khitrov N. B., Chizhikova N. P., Ubugunova V. I., Varlamov E. B., Zhambalova D. A., Chechetko E. S. Properties and mineralogical composition of dark-humus quasigley solonchakous solonetzic cryo-turbinated permafrost soil of the Barguzin Basin (Buryatia). Bulletin of the Soil Science Institute named after V. V. Dokuchaev. 2018;92: 62–94. Russian.
- Франк-Каменецкий В. А., Котов Н. В., Гойло Э. А. Трансформационные преобразования слоистых силикатов при повышенных Р-Т-параметрах. Л.: Недра, 1983. 151 с. Frank-Kamenetsky V. A., Kotov N. V., Goylo E. A. Transformational transformations of layered silicates at elevated P-T parameters. Leningrad: Nedra; 1983. 151 p. Russian.
- Чижикова Н. П., Хитров Н. Б. Разнообразие глинистых минералов почв солонцовых комплексов юго-востока Западной Сибири // Почвоведение. 2016. № 12. С. 1506–1520. DOI: 10.7868/S0032180X16120054. Chizhikova N. P., Khitrov N. B. Diversity of clay minerals in the soils of solonetzic complexes in the southeast of Western Siberia. Soil Science. 2016;12:1506–1520. Russian.
- Чижикова Н. П., Хитров Н. Б., Тронза Г. Е., Кольцов С. А., Варламов Е. Б., Четко Е. С., Чурилин Н. А. Минералогический состав солонцов Северо-Крымской низменности // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1499–1513. DOI: 10.7868/S0032180X17120061 Chizhikova N. P., Khitrov N. B., Tronza G. E., Koltsov S. A., Varlamov E. B., Chechetko E. S., Churilin N. A. Mineralogical composition of solonetzies of the North Crimean lowland. Soil Science. 2017;12:1499–1513. Russian.
- Экогеологическая обстановка в районе Сереговского месторождения каменной соли и минеральных вод / Т. П. Митюшева, В. Ф. Лапицкая, Е. М. Лаптева, Н. В. Конанова, Ю. С. Симакова, А. Н. Панюков. Сыктывкар: Геопринт, 2006. 48 с. Ecogeological situation in the area of the Seregovskoye deposit of rock salt and mineral waters. T. P. Mityusheva, V. F. Lapitskaya, E. M. Lapteva, N. V. Konanova, Yu. S. Simakova, A. N. Panyukov. Syktyvkar: Geoprint; 2006. 48 p. Russian.



- Andrade G. R. P., Furquim S. A. C., do Nascimento T. T. V., Brito A. C., Ribeiro Camargo G., de Souza G. C. Transformation of clay minerals in salt-affected soils, Pantanal wetland, Brazil. *Geoderma*. 2020;371:1–17. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114380
- Behar A., Hubenov Gr., van der Marel H. W. Highly Interstratified Clay Minerals in Salt Affected Soils. *Contr. Mineral. and Petrol.* 1972;34:229–235.
- Galvao L. S., Formaggio A. R., Couto E. G., & Roberts D. A. Relationships between the mineralogical and chemical composition of tropical soils and topography from hyperspectral remote sensing data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2008;63:259–271.
- Honty M., Uhlik P., Sucha V., Caplovicova M., Francu J., Clauer N., Biron A. Smectite-to-illite alteration in salt-bearing bentonites (the East Slovak Basin). *Clays and Clay Minerals*. 2004;52(5):533–551.
- Moore D. M. & Reynolds R. C., Jr. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. 2nd ed. Oxford, New York: Oxford University Press; 1997. 378 pp.
- Vengosh A. Salinization and Saline Environments. *Treatise on Geochemistry*, 2003; 9: 1–35. DOI: 10.1016/B0-08-043751-6/09051-4
- Wang J., Zhen J., Hu W., Chen S., Lizaga I., Zeraatpisheh M, Yang X. Remote sensing of soil degradation: Progress and perspective. *International Soil and Water Conservation Research*. 2023;11(3):429–454. DOI: 10.1016/j.iswcr.2023.03.002
- Yaremchuk Y., Hryniv S., Peryt T. Controls on the Transformation of Clay Minerals in the Miocene Evaporite Deposits of the Ukrainian Carpathian Foredeep. *Minerals*. 2025; 15(4): 395. DOI: 10.3390/min15040395

Поступила в редакцию / Received 10.06.2026



Из архива профессора Д. П. Григорьева: автобиография, отзывы академика В. А. Обручева и члена-корреспондента Д. С. Белянкина на диссертацию и другие документы

Ю. Л. Войтеховский

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

Российское минералогическое общество, Санкт-Петербург, Россия

vojtechovskij@herzen.spb.ru

Статья продолжает публикацию документов из личного архива профессора Д. П. Григорьева, хранящегося в Российском минералогическом обществе: автобиографии Д. П. Григорьева, уточняющей эпизоды его жизни и деятельности, а также отзывов академика В. А. Обручева и члена-корреспондента (позднее тоже академика) Д. С. Белянкина на его докторскую диссертацию, защищенную во время эвакуации в Свердловске в 1943 г. Отзыв академика А. Е. Ферсмана найти не удалось. В дополнение к ранее изданным материалам о нем здесь публикуется речь профессора Г. Л. Гаукенса (Лондонское геологическое общество) при награждении А. Е. Ферсмана медалью Волластона и ответная речь, произнесенная атташе советского посольства в Лондоне. Актуальность статьи состоит в необходимости отстаивания приоритетов российской науки. Цель — максимально полное освещение ее истории на основе документов. Архив Д. П. Григорьева в письмах, фото и других документах отражает несколько десятилетий довоенной, военной и послевоенной истории российской геологии, минералогии и кристаллографии. Статья адресована профессиональным историкам науки и широкому кругу любителей: сотрудникам Российской академии наук, преподавателям университетов, аспирантам и студентам.

Ключевые слова: Д. П. Григорьев, Д. С. Белянкин, В. А. Обручев, А. Е. Ферсман, личные архивы, история науки, экспериментальная минералогия, онтогенез минералов

From the archive of Professor D. P. Grigoriev: autobiography, reviews by Academician V. A. Obruchev and Corresponding Member D. S. Belyankin on the dissertation and other documents

Yu. L. Voytekhevsky

A. I. Herzen Russian State Pedagogical University, Saint Petersburg, Russia

Russian Mineralogical Society, Saint Petersburg, Russia

The article continues the publication of documents from the personal archive of Professor D. P. Grigoriev, kept at the Russian Mineralogical Society: D. P. Grigoriev's autobiography, clarifying some episodes of his life and work, as well as the reviews of Academician V. A. Obruchev and Corresponding Member (later also Academician) D. S. Belyankin for his doctoral dissertation, defended during the evacuation in Sverdlovsk in 1943. The review by Academician A. E. Fersman has not yet been found. In addition to the previously published materials about him, this article includes a speech by Professor G. L. Gaukens (London Geological Society) at the awarding of the Wollaston Medal to A. E. Fersman and his response delivered by the attaché of the Soviet Embassy in London. The relevance of the article lies in the need to defend the priorities of Russian science. The goal is to provide the most comprehensive coverage of its history based on documents. D. P. Grigoriev's archive, consisting of letters, photographs, and other documents, reflects several decades of pre-war, war, and post-war history of Russian geology, mineralogy, and crystallography. The article is intended for professional historians of science and a wide range of enthusiasts, including members of the Russian Academy of Sciences, university professors, postgraduate students, and undergraduates.

Keywords: D. P. Grigoriev, D. S. Belyankin, V. A. Obruchev, A. E. Fersman, personal archives, history of science, experimental mineralogy, ontogeny of minerals

Введение

Эта статья продолжает публикации о выдающихся российских геологах, минералогах и кристаллографах на основе документов, найденных автором в личном архиве профессора Д. П. Григорьева, хранящемся

в Российском минералогическом обществе. Архив содержит сотни разрозненных писем и фотографий от выдающихся минералогов России и зарубежья, протоколы различных конференций и в целом характеризует состояние минералогии и смежных наук примерно с 1940-х до 1970-х гг. По мере подготовки очеред-

Для цитирования: Войтеховский Ю. Л. Из архива профессора Д. П. Григорьева: автобиография, отзывы академика В. А. Обручева и члена-корреспондента Д. С. Белянкина на диссертацию и другие документы // Вестник геонаук. 2026. 7(379). С. 48–55. DOI: 10.19110/geov.2026.7.5

For citation: Voytekhevsky Yu. L. From the archive of Professor D. P. Grigoriev: autobiography, reviews by Academician V. A. Obruchev and Corresponding Member D. S. Belyankin on the dissertation and other documents. Vestnik of Geosciences, 2026, 7(379), pp. 48–55. DOI: 10.19110/geov.2026.7.5



ного смыслового блока мы публикуем эти документы ушедшей эпохи, включающей годы войны.

Каноническая биография самого Д. П. Григорьева хорошо известна и доступна в Интернете. В архиве обнаружены две автобиографии, уточняющие события его научной и преподавательской деятельности, особенно во время эвакуации в Свердловск. Ранее они были известны в общем. Но интересно знать, какие акценты расставил в цепи событий сам Д. П. Григорьев. Мы публикуем автобиографию от 03.04.1977 г., дополненную в квадратных скобках деталями из автобиографии от 14.11.1976 г. и других архивных документов. Из многих имеющихся у нас фото в текст добавлены самые подходящие по смыслу и датам с подписями самого Д. П. Григорьева.

В архиве нашлись отзывы академика В. А. Обручева (рис. 1) и члена-корреспондента (впоследствии тоже академика) Д. С. Белянкина (рис. 2) на докторскую диссертацию Д. П. Григорьева, защищенную в Свердловске во время эвакуации в 1943 г. На тот момент он был лидером отечественной экспериментальной минерало-

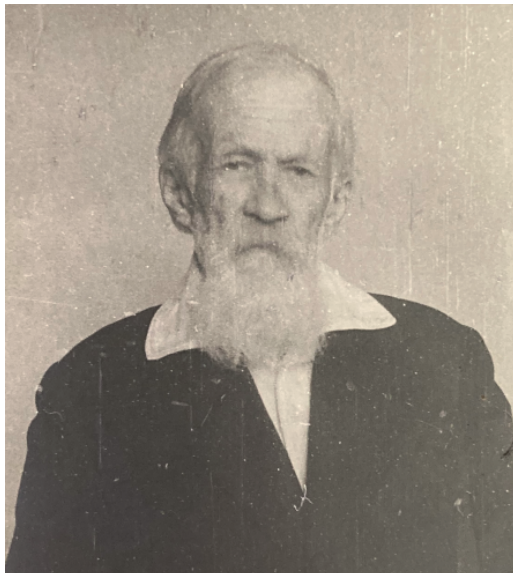


Рис. 1. В. А. Обручев. Свердловск, лето 1942 г.

Fig. 1. V. A. Obruchev. Sverdlovsk, summer 1942

гии. Кто мог ему оппонировать? Очевидно, не любые доктора геолого-минералогических наук, но обладающие особым академическим статусом. Вероятно, этим и обусловлены имена В. А. Обручева и Д. С. Белянкина¹, оказавшихся на Урале в 1943 г. в числе многих выдающихся ученых. Их отзывы подписаны 27 и 29 сентября 1942 г. Согласно автобиографии, защита состоялась в 1943 г., но точная дата нам не известна. Почерк В. А. Обручева понятен, чего не скажешь о мелком и трудном почерке Д. С. Белянкина. Отдельные слова расшифровать не удалось, они отмечены угловыми скобками <...>.

Отзыв В. А. Обручева (регионального геолога, тектониста, географа) довольно формальный и лишь скользнул по поверхности диссертации. Полагаем, что

¹ Имена и биографии обоих, особенно автора «Плутонии» и «Земли Санникова» В. А. Обручева, хорошо известны и доступны в Интернете. Публикуемые отзывы на диссертацию Д. П. Григорьева дополняют их.



Рис. 2. Д. С. Белянкин. 1940 г.

Fig. 2. D. S. Belyankin. 1940

он опирался на объективные показатели (научные публикации в ведущих журналах, выступления на конференциях) и мнения коллег. Возможно, краткость отзыва вызвана и проблемами со здоровьем. Вскоре он будет переправлен в Алма-Ату с более подходящим климатом. Письма В. А. Обручева к Д. П. Григорьеву опубликованы (Войтеховский, 2024). Отзыв Д. С. Белянкина (создателя технической петрографии, первооткрывателя нескольких ильменских минералов) лаконизмом и структурой похож на предыдущий, но более весом, ибо он уж точно понимал физико-химическую «начинку» диссертации.

Третьим оппонентом на защите был академик А. Е. Ферсман. К сожалению, его отзыв не найден. От него следовало ожидать наиболее профессионального разбора теоретического и практического аспектов работы. Устно передается легенда о том, как академик появился в аудитории, тут же написал отзыв, зачитал его, проголосовал и исчез по делам Госкомитета обороны². В 1941–1945 гг. он был председателем Комиссии по проблемам минерального сырья СОПС АН СССР и Комиссии научной помощи Красной армии при ОГТН АН СССР.

Письма А. Е. Ферсмана к Д. П. Григорьеву опубликованы (Войтеховский, 2023). Далее впервые на русском языке публикуется речь профессора Г. Л. Гаукиса при награждении А. Е. Ферсмана 17.03.1943 г. высшей наградой Лондонского геологического общества — медалью Волластона — и ответная речь академика, произнесенная атташе советского посольства в Лондоне. Этот документ о сугубо научном, казалось бы, событии переключается с политическими реалиями нашего времени.

² Мы слышали эту легенду от профессора М. А. Иванова (кафедра минералогии, кристаллографии и петрографии Санкт-Петербургского горного университета), который мог узнать ее от самого Д. П. Григорьева, с которым работал многие годы.

Автобиография Григорьева Дмитрия Павловича (рис. 3)

Родился [29 октября] 1909 г. в семье мастера в Перми. В 1925 г. [когда семья переехала в Ленинград] после окончания 5-го класса средней школы поступил в ФЗУ ленинградского завода «Красная заря», а затем работал столяром в цехе завода.

В 1929 г. [подготовившись самостоятельно] поступил в Ленинградский университет, но в 1930 г. геологическая специальность была переведена из университета в Горный институт. Институт окончил в 1934 г. со званием инженера-геолога по съемке и поискам [дипломный проект «Изучение магнезиально-железистых слюд», протокол государственной квалификационной комиссии от 13.06.1934 г., приказ по Горному институту от 14.06.1934 г., диплом № 185 от 03.07.1934 г.]. В институте был оставлен [с 01.09.1934 г.] ассистентом на кафедре минералогии (рис. 4).

Еще в бытность студентом стал принимать участие в научных исследованиях. В 1934–35 гг. организовал при кафедре Лабораторию экспериментальной минералогии, в которой разработал способ синтеза слюд, амфиболов и ряда других минералов (рис. 5).

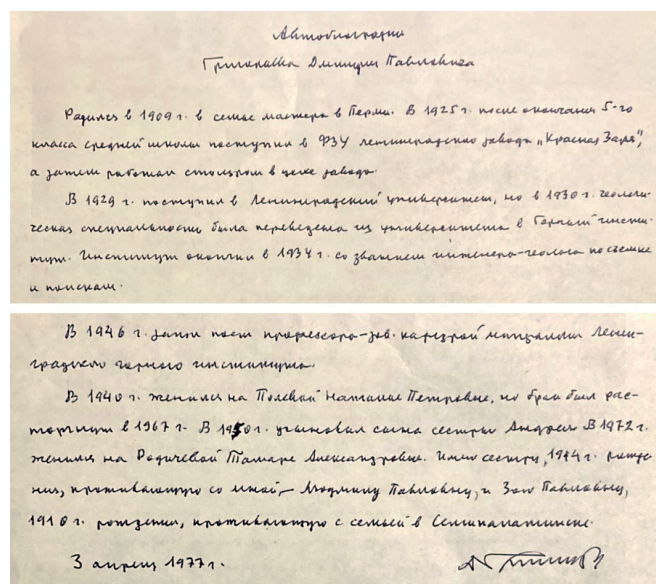


Рис. 3. Начало и окончание автобиографии Д. П. Григорьева
Fig. 3. The beginning and end of D. P. Grigoriev's autobiography

В 1937 г. получил ученую степень кандидата геолого-минералогических наук без защиты диссертации³, а в 1940 г. утвержден в ученном звании доцента. В связи с тем что в 1940 г. Президиум Академии наук СССР и Комитет по делам высшей школы при СНК СССР назначили мне докторантскую стипендию

³ До 1934 г. ученые степени и звания назначались на европейский манер, т. е. университетами. Постановление СНК СССР от 13.01.1934 № 79 «Об ученых степенях и званиях» определило знакомый нам порядок, впрочем претерпевавший те или иные изменения. Примечание 2 к п. 6 постановления гласит: «Степень доктора может быть присуждена без защиты диссертации лицам, известным выдающимися научными трудами, открытиями или изобретениями». О степени кандидата такого примечания нет, но, вероятно, правило действовало автоматически.



Рис. 4. Ассистенты Д. П. Григорьев и В. И. Михеев (слева), профессор А. К. Болдырев (справа). 1934 г.

Fig. 4. Assistants D. P. Grigoriev and V. I. Mikheev (left), Professor A. K. Boldyrev (right). 1934

им. Сталина⁴, стал разрабатывать тему по синтезу минералов и к лету 1941 г. почти закончил диссертацию.

Во время Великой Отечественной войны до февраля 1942 г. вел исследования по оборонной тематике (в направлении синтеза слюд) в Горном институте, а затем был эвакуирован [1 февраля 1942 г.] из-за дистрофии в Свердловск и прикомандирован к Свердловскому горному институту [для завершения диссер-

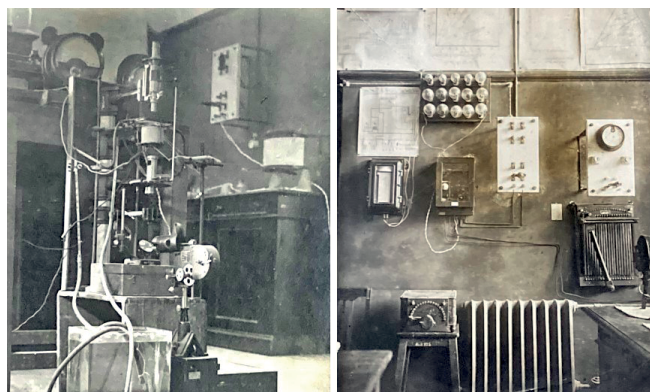


Рис. 5. Лаборатория экспериментальной минералогии в Ленинградском горном институте. Слева — нагревательный микроскоп, справа — регистрирующий пирометр и ртутный регулятор. 1938 г.

Fig. 5. Laboratory of Experimental Mineralogy at the Leningrad Mining Institute. On the left is a heating microscope, and on the right is a recording pyrometer and a mercury regulator. 1938

⁴ Стипендия им. Сталина учреждена постановлением СНК СССР от 20.12.1939 в ознаменование 60-летия вождя, порядок назначения утверждён 25.03.1940. Кандидаты выдвигались советами НИИ и вузов. Персональные назначения производились на совместном заседании Президиума АН СССР и Комитета по делам высшей школы при СНК СССР. Для лиц, готовящихся к защите докторской диссертации, учреждено 50 стипендий по 1500 руб. в месяц. Стипендии им. Сталина считались высокой честью.



тации]. В 1943 г. защитил докторскую диссертацию на ученом совете Института геологических наук АН СССР, находившемся временно в Свердловске, [и 5 июня 1943 г. мне присудили ученую степень доктора геолого-минералогических наук] [решение ВАК от 05.06.1943 г., диплом ГМ № 000093 от 30.03.1946 г.]. В том же году был приглашен [академиком А. Е. Ферсманом] в этот институт для организации лаборатории экспериментальной минералогии, которой стал заведывать [до реэвакуации института в Москву].

Когда ИГН в 1944 г. был реэвакуирован, я перевелся в Горно-геологический институт Уральского филиала АН СССР, где организовал лабораторию экспериментальной минералогии и заведывал ею (рис. 6, 7), ведя работы по синтезу минералов колчеданных руд [до перевода в Ленинградский горный институт им. Г. В. Плеханова в 1946 г.].

С [19 января] 1946 г. [по настоящее время] занимаю пост профессора — зав. кафедрой минералогии Ленинградского горного института им. Г. В. Плеханова (рис. 8–10) [утвержден ВАК в ученом звании профессора по кафедре минералогии и кристаллографии 12.10.1946 г., аттестат МПР № 00340 от 01.10.1947 г.].

[Вместе с преподаванием вел и веду исследования по генезису минералов — полезных ископаемых. Выезжал на полевые работы и для консультаций в Карелию, на Урал, Памир, Кавказ. В порядке командирования и обмена учеными 15 раз был в зарубежных странах: Англии, Бельгии, Болгарии, Венгрии, ГДР, Западном Берлине, Испании, Польше, Франции, ФРГ, Чехословакии, Швейцарии, Японии].

В 1940 г. женился на Полевой Наталье Петровне, но брак был расторгнут в 1967 г. В 1950 г. усыновил сына сестры Андрея [ныне доцент Ленинградского электротехнического института им. Ульянова-Ленина]. В 1972 г. женился на Родичевой Тамаре Александровне (работает в Библиотеке АН СССР). Имею сестру 1914 г. рождения, проживающую со мной — Людмилу Павловну (пенсионер), и [сестру] Зою Павловну 1910 г. рождения, проживающую с семьей в Семипалатинске.

3 апреля 1977 г.

(подпись)



Рис. 6. В Лаборатории экспериментальной минералогии Горно-геологического института УФ АН СССР. Свердловск, 1945 г.

Fig. 6. In the Laboratory of Experimental Mineralogy at the Mining and Geological Institute of the USSR Academy of Sciences. Sverdlovsk, 1945



Рис. 8. Профессор Д. П. Григорьев — зав. кафедрой минералогии Ленинградского горного института. 1946 г.

Fig. 8. Professor D. P. Grigoriev, Head of the Department of Mineralogy at the Leningrad Mining Institute, 1946



Рис. 7. Лекция в Уральском геологическом музее. Свердловск, 1945 г.

Fig. 7. Lecture at the Ural Geological Museum. Sverdlovsk, 1945



Рис. 9. Дома, за рабочим столом. Ленинград, 1955 г.

Fig. 9. At home, at the working table. Leningrad, 1955



Рис. 10. В вагоне «Красной стрелы». Ленинград — Москва, 1956 г.

Fig. 10. In the "Red Arrow" train. Leningrad — Moscow, 1956

Обручев В. А. Краткий отзыв о диссертации Д. П. Григорьева «Синтез и исследование главных минералов — силикатов с летучими компонентами» (рис. 11)

В этом научном труде Д. П. Григорьев подводит итоги своим экспериментальным исследованиям по синтезу минералов — силикатов с летучими компонентами, начатым в 1932 г., о которых он уже сообщал на заседаниях нескольких ученых обществ и совещаний и в печати. Удачные результаты опытов получения искусственным путем таких минералов, как амфиболы и слюды, уже обратили внимание на метод,

примененный молодым ученым, который получил в 1940 г. докторантскую стипендию имени И. В. Сталина, давшую ему возможность завершить свои исследования и подготовить докторскую диссертацию.

В последней автор подробно излагает теорию и практику своего метода синтеза, в котором он очень удачно заменил гидроксил фтором в качестве летучего компонента, что позволило ему получить искусственные минералы при обыкновенном давлении и в любом количестве, тогда как при применении гидроксила требовалось высокое давление. Последнее условие и вызвало несовершенство или полную неудачу опытов других ученых при попытках получить искусственные слюды и амфиболы.

В первой части диссертации рассмотрена роль фтора в магмах, минералах и горных породах и его применение при экспериментах в качестве заменителя гидроксидов, кислорода и хлора с описанием практических методов исследований. Во второй части изложены синтез и исследование минералов группы амфиболов и слюд и значение опытов для геологии и металлургии, а в третьей части описано изучение реакционных отношений минералов при плавлении смесей их компонентов и предложено изменение и дополнение реакционной схемы Боуэна. В заключении автор приводит главные результаты исследований, теорию метода, технику исследования и эксперимента, применение метода и его перспективы.

Автор основательно знаком со всей русской и иностранной литературой по синтезу минералов, критически рассматривает ее и приводит в выводах на страницах диссертации вместо общего списка в конце ее. Это вызвало некоторое увеличение объема труда, но более удобно для читателя. Научный труд Д. П. Григорьева вполне соответствует требованиям, предъявляемым к докторской диссертации, и поэтому может быть представлен на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук.

29 сентября 1942 г.

Акад. В. А. Обручев

г. Свердловск

Белянкин Д. С. Синтез и исследование главных минералов — силикатов с летучими компонентами (рис. 12)

Имя Д. С. [описка, подсознание подсказало свои инициалы] Григорьева, несмотря на его молодость и на относительно недолгие года научной его деятельности <...> известно всем интересующимся <...> и судьбами минералого-петрографической науки. Известность эту создали ему замечательные опыты по искусственному воспроизведению и исследованию таких водосодержащих порообразующих минералов, как слюды, и в особенности амфиболы разного рода. Первые из них, как известно, в прошедшее время воспроизводились лишь изредка и отдельными специалистами, а вторые до Д. П. Григорьева почти и вообще не получались искусственно. Причина заключалась в крайней трудности эксперимента с ними вследствие содержания в их составе конституционной воды, требовавшей для синтеза их одновременно с высокими температурами достижения также и соответствующих высоких давлений. Д. П. Григорьев весьма остроумно и просто преодолел означенную трудность посред-

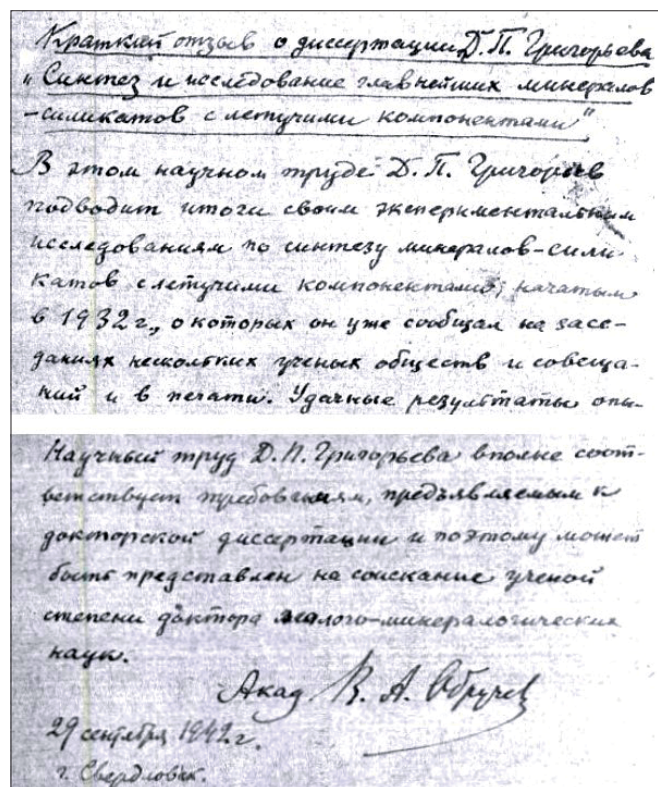


Рис. 11. Начало и окончание отзыва В. А. Обручева

Fig. 11. The beginning and end of V. A. Obruchev's review

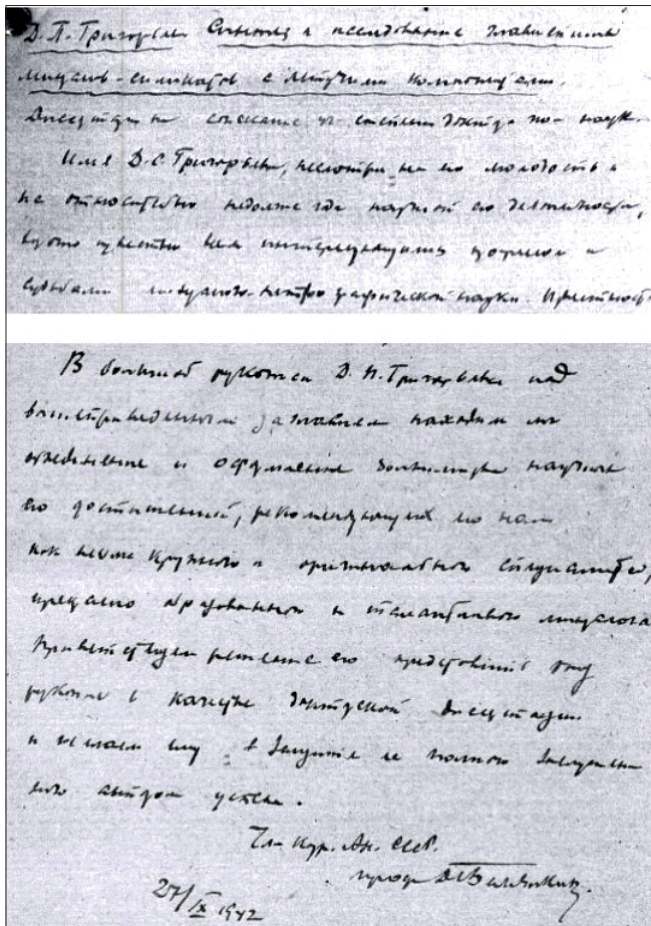


Рис. 12. Начало и окончание отзыва Д. С. Белянкина
Fig. 12. The beginning and end of D. S. Belyankin's review

ством замены в синтетических его <...> воды элементами фтора. Поскольку применявшиеся им при этом фтористые препараты (фтористый кальций) и получавшиеся при их посредстве продукты — фтористые слюды и фтор-амфибол — вполне устойчивы в высокотемпературных областях уже при обыкновенном атмосферном давлении ... отпадает необходимость в высоких давлениях при его экспериментах и эти последние <...> крайне простой и общедоступный след.

Выдающееся методическое открытие Д. П. Григорьева открывало перед ним широкие возможности в области не только синтеза самых разнообразных амфиболов и слюд, но также и всестороннего исследования их свойств и взаимоотношений их между собой. Все эти возможности прекрасно использованы Д. П. [Григорьевым], установившим таким путем в многочисленных его трудах целый ряд фактов большого научного значения, как то: открытие им чисто известковых амфиболов и опытное доказательство полного изоморфизма их с тремолитом и др[угими] членами амфиболового ряда, детальный анализ реакционных отношений амфиболов с пироксенами, с авгит[ом] и со слюдами, с другой стороны — анализ, значительно пополнявший известную реакционную схему Боуэна, и пр.

В большой рукописи Д. П. Григорьева под вышеприведенным заглавием находим мы объединение и оформление <...> научных его достижений, рекомендуемых его нам как весьма крупного и оригинально-

го специалиста, прекрасно образованного и талантливого минералога. Приветствую решение его представить эту рукопись в качестве докторской диссертации и желаю ему в защите ее полного, заслуженного автором успеха.

27/IX 1942

Чл.-корр. АН СССР
проф. Д. С. Белянкин

Выдержка из Трудов Лондонского геологического общества

Для А. Е. Ферсмана 1943 г. был напряженным, подорвавшим здоровье (в середине года уложившим на больничную койку с болезнью сердца, от которой он так и не оправился), но и радостным. Ему была присуждена медаль Волластона (рис. 13). В архиве Д. П. Григорьева нашелся перевод ранее не публиковавшегося на русском языке протокола из Трудов Лондонского геологического общества № 1393 от 06.04.1943 г. о ежегодном общем собрании 17.03.1943 г., на котором председательствовавший профессор Г. Л. Гаукинс вручил медаль атташе советского посольства А. М. Крайнескому со следующими словами: «Присуждая высшую имеющуюся в его распоряжении почесть проф. А. Е. Ферсману, совет Геологического общества отдает дань не только выдающемуся геологу, но также руководителю и вдохновителю множества других лиц, из которых многие заняли видные места в передних рядах деятелей науки. Имея перед собой обширное поле деятельности на огромной, до настоящего времени мало исследованной территории, проф. А. Е. Ферсман провел ряд сложных и детальных исследований с широкими обобщениями и сыграл большую роль в открытии и росте запасов полезных ископаемых СССР.

Его ранняя работа относится главным образом к деталям кристаллографии и минералогии, результатом чего явилась его книга об алмазе, написанная совместно с В. Гольдшмидтом. Однако восхищение ученого мира вызвала его работа в области геохимии. Детальная и кропотливая лабораторная работа, последующие широкие и блестящие исследования и не менее блестящие синтез и обобщение дали ему возможность предсказания открытий месторождений полезных ископаемых, с точностью проверенных многими поисково-разведочными экспедициями.



Рис. 13. Платиновая медаль Волластона. Надпись на обороте: Александр Евгеньевич Ферсман. 1943 г. The Geological Society of London

Fig. 13. The Wollaston Platinum Medal. The inscription on the back: Alexander Evgenievich Fersman. 1943. The Geological Society of London

Экономическое значение его работы несомненно, но и вклад его в чистую науку, как экспериментальную, так и теоретическую, не менее поразителен. Если бы проф. А. Е. Ферсман не сделал ничего, кроме своего труда о щелочном магматическом комплексе Кольского полуострова, то и этого было бы достаточно для получения широкой известности. Однако эти исследования, какими бы выдающимися они ни были, представляют лишь часть его деятельности.

Издания его трудов весьма многочисленны, и те, в которых он облекает результаты своих открытий в популярную форму, имеют репутацию «бестселлеров» — свидетельство ясности его стиля не меньше, чем доказательство развитости его читателей. Достижения русской геологии велики и освящены почтенными именами, которые будут долго сверкать всюду, где чтят науку. Присуждая настоящую медаль проф. А. Е. Ферсману, его союзники и коллеги уверены, что они оказывают почесть одному из наиболее выдающихся среди выдающихся коллег».

Атташе А. М. Крайнский ответил следующее: «Позвольте мне, мистер председатель и члены Геологического общества, выразить вам от имени проф. А. Е. Ферсмана горячую признательность за оказанную ему вами высокую честь. Настоящее присуждение медали является данью не только проф. А. Е. Ферсману, но также и всем советским ученым, продолжающим свою деятельность в трудных военных условиях, отдающих все свое время, всю энергию и способности общему делу всего прогрессивного человечества — скорейшему разгрому фашизма. Оно является также символом растущей дружбы и уважения между народами наших двух стран, слитых сейчас в общей борьбе, от победного завершения которой зависит дальнейшее развитие мирового прогресса и науки.

Разрешите мне прочитать вам послание от проф. А. Е. Ферсмана: „Я выражаю Лондонскому геологическому обществу мою искреннейшую признательность за присуждение мне медали Волластона. Получение этой медали от Лондонского геологического общества, одного из старейших и почтеннейших учреждений, особенно дорого в этот переживаемый нами исторический момент, когда все силы нашего государства направлены на борьбу с гитлеризмом — врагом культуры, науки и мира. Подписано: академик А. Е. Ферсман“. Я с большим удовольствием перешлю эту медаль проф. А. Е. Ферсману, от имени которого еще раз выражаю вам искреннюю благодарность».

На документе есть карандашная пометка рукой Д. П. Григорьева: «Перевод с английского сделан Т. А. Усовой в Институте геологических наук 20.II.44». Возможно, он был заказан для статьи (Григорьев, 1944).

Заключение

В чем сегодня видится историческое значение положительных отзывов А. Е. Ферсмана, В. А. Обручева и Д. С. Белянкина на диссертацию Д. П. Григорьева? Очевидно, не только в свидетельстве докторского уровня последнего, но и в утверждении нового научного направления. В то же время под руководством А. В. Шубникова и, несколько позднее, Н. В. Белова развивалось близкое направление — гидротермальный синтез пьезокварца, остро необходимого для отечественной элек-

троники (радары, эхолоты и др.). Письма академиков А. В. Шубникова и Н. В. Белова к Д. П. Григорьеву опубликованы (Войтеховский, 2026). Постепенно оформилась идея о необходимости академических и отраслевых научно-исследовательских институтов и сопутствующих производств, систематически решающих проблемы экспериментальной минералогии. В 1954 г. образован Всесоюзный НИИ пьезоматериалов, в 1969 г. — Институт экспериментальной минералогии АН СССР, а далее — институты, отделы, лаборатории в регионах... Ныне это мощное научно-производственное направление на стыке многих дисциплин.

Но самое интересное для нас в этой истории — крутой поворот в судьбе Д. П. Григорьева после защиты диссертации. В автобиографии он пишет: «Вместе с преподаванием вел и веду исследования по генезису минералов — полезных ископаемых». Это уже не экспериментальная, а другая минералогия. Мы не можем найти его записей о том, как совершился этот поворот. Но по статьям и выступлениям можно проследить, как с 1946 по 1947 г. им формулировались «основные задачи минералогии», накапливались наблюдения (Григорьев, 1953, 1956). Постепенно утверждался известный всем его студентам принцип «минералы не на бумаге, а в природе», пока не выстрелила «Онтогенез минералов» (Григорьев, 1961) — методология, дополнившая кристаллохимическую парадигму, не сразу принятая профессиональным сообществом, но устоявшая и развитая целой плеядой учеников и последователей (Григорьев, Жабин, 1975; Жабин, 1979; Павлишин и др., 1988 и мн. др.). Впрочем, это уже другая, пока не написанная история об онтогенезе «Онтогенез...».

Личные архивы — важный источник знаний о прошлом. Рукописные документы часто обнаруживают подоплеку громких событий, создают сеть истории, в которой всему должно быть место. Отдадим должное профессору Д. П. Григорьеву, педантично сохранявшему письма, рукописи и фото.

Автор благодарит рецензентов за замечания, способствовавшие более ясному и последовательному изложению материалов.

Литература / References

- Войтеховский Ю. Л. Ранее не опубликованные документы и воспоминания об А. Е. Ферсмане: к 140-летию со дня рождения // Зап. РМО. 2023. № 3. С. 113–123. DOI: 10.31857/S0869605523030073, EDN: XGYDPP.
Voytekhoysky Yu. L. Previously unpublished documents and memoirs about A. E. Fersman: on the 140th anniversary of his birth. Proc. Rus. Miner. Soc. 2023;3:113–123. Russian.
- Войтеховский Ю. Л. «Искренне уважающий Вас В. Обручев». К 160-летию со дня рождения академика В. А. Обручева // Журнал Рос. нац. комитета по истории и философии науки и техники. 2024. Т. 2. Вып. 2. С. 178–203. DOI: 10.62139/2949-608X-2024-2-2-178-203
Voytekhoysky Yu. L. «Sincerely yours, V. Obruchev». On the 160th anniversary of the birth of Academician V. A. Obruchev. Journal of the Russian National Committee on the History and Philosophy of Science and Technology. 2024;2(2):178–203. Russian.



- Войтеховский Ю. Л. Из архива профессора Д. П. Григорьева: письма академиков Н. В. Белова и А. В. Шубникова // Вестник геонаук. 2026. № 1(373). С. 42–51. DOI: 10.19110/geov.2026.1.5.
- Voytekhovsky Yu. L. From Professor D. P. Grigoriev's archive: letters from Academicians N. V. Belov and A. V. Shubnikov. Vestnik of Geosciences. 2026;1(373):42–51. Russian.
- Григорьев Д. П. Присуждение академику А. Е. Ферсману медали имени Волластона Лондонским геологическим обществом // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1944. № 1. С. 122–123.
- Grigoriev D. P. Awarding Academician A. E. Fersman the Wollaston Medal by the Geological Society of London. Izv. USSR Acad. Sci. Ser. Geol. 1944;1:122–123. Russian.
- Григорьев Д. П. О генезисе натечных или метаколлоидных, колломорфных агрегатов минералов: в связи с вопросом о роли коллоидов в рудообразовании // Зап. ВМО. 1953. № 1. С. 7–22.
- Grigoriev D. P. On the genesis of flowing or metacolloidal, collomorphic mineral aggregates: in relation to the role of colloids in ore formation. Proc. Rus. Miner. Soc. 1953;1:7–22. Russian.
- Григорьев Д. П. К пониманию природы «коллоидных» минералов // Вопросы минералогии осадочных образований. Кн. 3/4. Львов: Изд. Львов. ун-та, 1956. С. 107–108.
- Grigoriev D. P. To an understanding of the nature of «colloidal» minerals. Issues in the mineralogy of sedimentary formations. Books 3/4. Lviv: Lviv University Press; 1956. p. 107–108. Russian.
- Григорьев Д. П. Онтогенез минералов. Львов: Изд. Львов. ун-та, 1961. 284 с.
- Grigoriev D. P. Ontogeny of minerals. Lvov: Lvov University Press; 1961. 284 p. Russian.
- Григорьев Д. П., Жабин А. Г. Онтогенез минералов. Индивиды. М.: Наука, 1975. 339 с.
- Grigoriev D. P., Zhabin A. G. Ontogeny of minerals. Individuals. Moscow: Nauka; 1975. 339 p. Russian.
- Жабин А. Г. Онтогенез минералов. Агрегаты. М.: Наука, 1979. 275 с.
- Zhabin A. G. Ontogeny of minerals. Aggregates. Moscow: Nauka; 1979. 275 p. Russian.
- Павлишин В. И., Попов В. А., Юшкин Н. П. Онтогенетический метод в минералогии. Киев: Наукова думка, 1988. 120 с.
- Pavlishin V. I., Popov V. A., Yushkin N. P. Ontogenetic method in mineralogy. Kiev: Naukova Dumka; 1988. 120 p. Russian.

Поступила в редакцию / Received 04.02.2026



Новые публикации / New publications



УДК 548

Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2026): Материалы российской конференции с международным участием

Сыктывкар: ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2026. 348 с.

ISBN 978-5-98491-110-8

В сборнике представлены материалы российской конференции с международным участием «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии» (Юшкинские чтения — 2026). Рассматриваются фундаментальные проблемы генетической и экспериментальной минералогии, кристаллографии и кристаллогенезиса, физики и свойств минералов, наноминералогии, минералогии импактитов и метеоритов, биоминералогии. Широко обсуждаются материалы по актуальным вопросам региональной минералогии, минералогии месторождений полезных ископаемых, а также рационального использования минерального сырья. Рассмотрены современные возможности и перспективы использования искусственного интеллекта и машинного обучения в минералогии. Сборник представляет интерес для минералогов и специалистов естественно-научного профиля.

Modern Problems of Theoretical, Experimental and Applied Mineralogy (Yushkin Readings — 2026): Proceedings of Russian conference with international participation

Syktvykar, IG FRC Komi SC UB RAS, 2026. 348 p.

This volume presents the proceedings of the Russian conference with international participation "Modern Problems of Theoretical, Experimental, and Applied Mineralogy" (Yushkin Readings — 2026). The collection covers fundamental issues in genetic and experimental mineralogy, crystallography and crystal genesis, mineral constitution and properties, nanomineralogy, impactite and meteorite mineralogy, and biomineralogy. Particular attention is given to regional mineralogy, mineralogy of mineral deposits, and the rational use of mineral resources. The volume also explores current opportunities and prospects for the application of artificial intelligence and machine learning in mineralogy. This collection will be of interest to mineralogists and researchers in the natural sciences.

Редакторы издательства:

О. В. Габова, К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка:

Р. А. Шуктомов

Выписка из реестра средств массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 31.08.2026. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 7. Тираж 130. Заказ 1273. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издатель: Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Адрес редакции, издателя, типографии: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru

На обложке использованы фото Е. Антроповой, А. Перетягина, М. Сокерина, Р. Шуктомова