

Допалеозойская кора выветривания на юго-восточном побережье полуострова Канин

©2025 Н. Ю. Никулова¹✉, Л. И. Богатырев¹,
Ю. С. Симакова², А. Е. Цыбульская¹

¹*Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт имени А. П. Карпинского, Средний пр. В. О., 74,
199106, Санкт-Петербург, Российская Федерация*

²*Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
Первомайская, 54, 167982, Сыктывкар, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: полуостров Канин, являющийся продолжением структур соседнего Тимана, имеет сходное с первым геологическое строение и историю развития. Коры выветривания (КВ), с которыми на Тимане связаны многие месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых, на полуострове Канин остаются практически не исследованными. Их геохимическое изучение с целью прогноза перспективных объектов для глиняного сырья и россыпных месторождений, является основой для корреляции палеонтологически не охарактеризованных отложений, проведения палеогеографических и палеогеодинамических реконструкций, выяснения истории развития этого слабо изученного региона.

Методика: для установления особенностей состава и генетической принадлежности развитых на контакте пород рифейского фундамента и палеозойских отложений, глинистых образований коры выветривания, описанных и опробованных в коренном выходе на морском побережье полуострова Канин, проведено изучение состава петрогенных окислов, редкоземельных элементов и глинистых минералов прецизионными методами.

Результаты и обсуждение: интерпретации результатов химических анализов и особенностей распределения REE и фазового состава глинистой фракции, позволили установить, что изученные образования незначительно отличаются от исходных пород по соотношению породообразующих элементов, содержанию и составу слюдястых минералов и представляют собой метаморфизованный элювий по субстрату древних высокогидролизатных метатерригенных пород.

Заключение: изученные глинистые образования допалеозойской коры выветривания диагностируются как породы зоны осветления и механической дезинтеграции, а КВ относится к иллит-каолинитовому типу сиаллитной стадии.

Ключевые слова: кора выветривания, вырисьская свита, химический состав, обломочный материал, полуостров Канин.

Источник финансирования: работа выполнена в рамках тем Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А. П. Карпинского (государственное задание Федерального агентства по недропользованию № 049-00009-18-00) и ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 122040600009-2).



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Никулова Наталия Юрьевна, e-mail: Nataliya_Nikulova@karpinskyinstitute.ru

Для цитирования: Никулова Н. Ю., Богатырев Л. И., Симакова Ю. С., Цыбульская А. Е. Допалеозойская кора выветривания на юго-восточном побережье полуострова Канин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2025. № 3. С. 12–21. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/3/12-21>

Введение

С корами выветривания связаны промышленные месторождения бокситов, титановых руд и каолиновых глин, рудопоявления золота, редких и редкоземельных элементов, фосфатов и алмазов на Северном и Среднем Тимане. Полуостров Канин, являющийся продолжением Тиманских структур, имеет сходное геологическое строение и историю развития. К настоящему времени коры выветривания на полуострове Канин остаются практически не изученными. Известно, что здесь установлены проявления кор выветривания развитых по основным вулканитам девонского возраста [1].

В связи с новым этапом освоения арктических территорий существует необходимость изучения объектов, перспективных на поиски глиняного сырья и россыпных месторождений. Геохимическое изучение кор выветривания необходимо для проведения палеогеографических и палеогеодинамических реконструкций, установления истории развития и слабо изученного района.

Основной задачей проведенного исследования является характеристика КВ – выявление особенностей состава породообразующих, редкоземельных элементов и минерального состава глинистых образований и пород субстрата, которые могут использоваться для поисковых целей, корреляции, определения генетической принадлежности и условий формирования отложений при картировании палеонтологически немых толщ.

Объект и методы исследования

Образцы сложенной глинистыми породами коры выветривания по породам варысальской свиты верхнего рифея отобраны в ходе полевых работ Канинской партии отдела РГ и ПИ полярных и приполярных территорий ФГБУ «ВСЕГЕИ» в 2018 г. в естественном обнажении на обрывистом морском берегу в юго-восточной части полуострова Канин (рис. 1).

Определение содержаний редких и редкоземельных элементов проводилось в Центральной лаборатории ФГБУ «ВСЕГЕИ» (методы ПКСА, ICP-MS).

Содержания породообразующих оксидов определено методом рентгенофлуоресцентного спектрального анализа (спектрометр Shimadzu XRF-1800) в лаборатории химии минерального сырья ИГ Коми НЦ ФИЦ УрО РАН (г. Сыктывкар).

Фазовый состав глинистых пород определен в лаборатории минералогии ИГ Коми НЦ ФИЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Минеральный состав глинистой фрак-

ции расшифрован по дифрактограммам неориентированных препаратов и ориентированных образцов, подвергнутых стандартным диагностическим обработкам. Исследовались дифракционные кривые препаратов: а – воздушно-сухих, б – насыщенных этиленгликолем. Съемка проводилась на рентгеновском дифрактометре Наоуан DX-2700ВН, излучение $\text{CuK}\alpha$, 40kV, 30mA, интервал сканирования $2-65^\circ 2\theta$ и $2-70^\circ 2\theta$, шаг сканирования $2\theta - 0.05$, скорость съемки $-1^\circ/\text{мин}$.

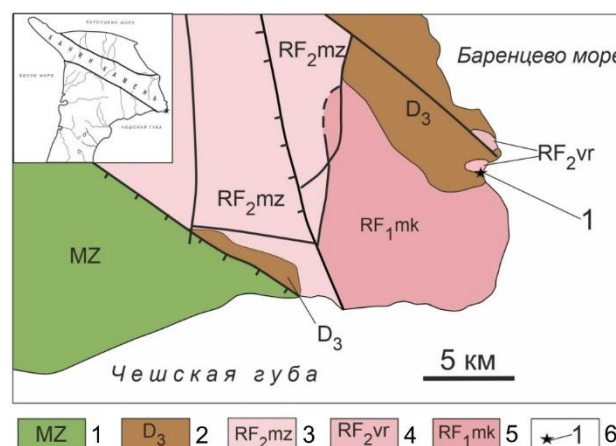


Рис. 1. Схематическая геологическая карта юго-восточной оконечности полуострова Канин (по Черемхина, 1966). Условные обозначения: 1 – мезозойская эратема: терригенные и вулканогенно-терригенные отложения; 2 – девонская система, верхний отдел: базальты, терригенные отложения, известняки; 3–5 верхнепротерозойская эонотема: 3–4 – рифейская подэонотема, верхнерифейская эратема, тархановская серия: 3 – мязгинская свиты: кристаллические сланцы, кварцитопесчаники; 4 – варысальская свита: кристаллические сланцы, амфиболиты, кварцитопесчаники; 5 – рифейская подэонотема, нижнерифейская эратема, микулкинская свита: плагиогнейсы, кристаллические сланцы.

[Fig. 1. Schematic geological map of the southeastern end of the Kanin Peninsula (according to Cheremkhina, 1966). Legend: (1) – Mesozoic eratheme: terrigenous and volcanogenic-terrigenous deposits; (2) – Devonian system, upper section: basalts, terrigenous deposits, limestones; (3–5) Upper Proterozoic eonothem: (3–4) – Riphean subeonothem, Upper Riphean eratheme, Tarkhanovskaya series: (3) – Myazginskaya Formation: crystalline schists, quartzite sandstones; (4) – Varysalskaya Formation: crystalline schists, amphibolites, quartzite sandstones; (5) – Riphean sub-eonothem, Lower Riphean eratheme, Mikulinskaya Formation: plagiogneisses, crystalline schists.]

Краткое описание геологического положения изученного разреза

Территория полуострова Канин является частью Тимано-Печорского региона, и разделяется на Канино-Северотиманский мегавал и часть Печорской синеклизы. Основной тектонической структурой, определяющей геологическое строение полуострова Канин является Канино-Северотиманский мегавал – северо-западное продолжение Тиманской гряды¹. Основным

¹ Здесь и далее геологическое строение территории приведено по: Черемхина Г. М., Отчет Несской геолого-съемочной партии о результатах групповой

геологической съемки и геологического доизучения ранее заснятых площадей масштаба 1: 200 000, проведенных в 1988–1996 гг. Листы R-38-XXXII, XXXIV,

элементом тектонического плана территории является Канинский горст, ограниченный зонами разломов северо-западного простирания и совпадающий с современным поднятием Канин Камень, в пределах которого на дневную поверхность выходят, подверженные зональному метаморфизму от зеленосланцевой до амфиболитовой фаций, образования рифейского фундамента (рис. 1).

Рифейские отложения на крыльях антиклинальной структуры с несогласием перекрыты образованиями палеозойского чехла и представлены сланцами различного состава, кварцитопесчаниками, кварцитами, доломитами, плагиогенейсами, амфиболитами, скарноидами, реже – конгломератами, известняками, парagneйсами.

В береговом обрыве и на плоской поверхности приливо-отливной равнины, глинистые породы коры выветривания слагают выдержанный по простиранию горизонт мощностью до 1.5 м, прослеживающийся на несколько десятков метров (рис. 2 а). Вскрытые в осно-

вании глинистого горизонта породы варысальской свиты представлены переслаиванием (мощность слоев 20–50 см) серых, светло-зеленовато-серых мелкозернистых слюдястых метапесчаников и темно-серых гранат-мусковит-кварц-биотитовых кристаллосланцев.

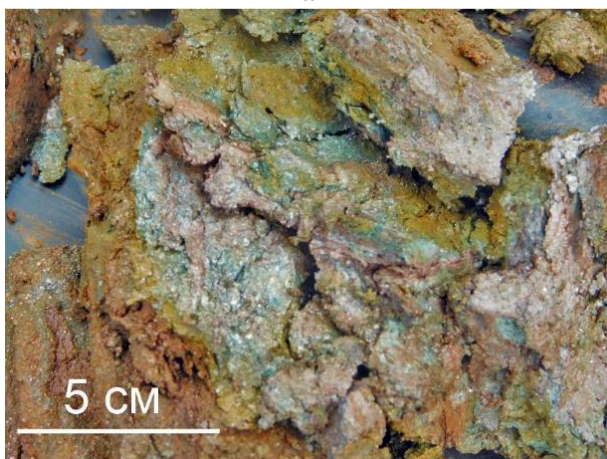
В песчаниках отмечаются кварцевые прожилки (зоны окварцевания), толщиной несколько миллиметров, содержащие тонкую сульфидную вкрапленность. В изученном разрезе глинистые красновато-бурые образования коры выветривания мощностью около 70 см перекрывают различные слои метаосадочной толщи (рис. 2 б). Переход к глинистому слою постепенный: трещиноватые, дезинтегрированные метатерригенные породы становятся рыхлыми, в них появляются буроватые глинистые прослои толщиной до нескольких сантиметров, которые постепенно переходят в глинистую красновато-бурую, с охристо-желтыми, зеленовато-серыми, розовыми и серыми прослоями и пятнами, породу в нижней части слоя с песчаными зернами и мелкой дресвой (рис. 2 с).



а



б



с

Рис. 2. Слой глинистых пород на поверхности приливо-отливной равнины (а), несогласное залегание глинистых пород на различных слоях варысальской свиты, фрагмент обнажения 2001 (б); пестро окрашенная порода из переходного слоя (с).

[Fig. 2. Layer of clayey rocks on the surface of the tidal plain (a), unconformable occurrence of clayey rocks on different layers of the Varysal suite, fragment of outcrop 2001 (b); variegated rock from the transition layer (c).]

XXXV < Q-38-II, III, IV, V, VIII, IX, X, XV, XVI. Новодвинск, 1996; Горностаев Б. А. Отчет о групповой геологической съемке м-ба 1:50000 и поисках проведенных на территории листов R-38-111-Г, 123Б, 124АВВГ, 125АВГ, 126ВВГ, ГВГ, 137АБ, Баб, 138АБ, Г6, 139АБ,

Ваб, Габг, 140АВг, БВг, В, Г, 141ВГ, 142В; Q-38-8-Баб, 9АВГ, 10АВ на п-ве Канин. Архангельское ПГО, Тиманская ГРЭ, Нарьян-Мар, 1984.

Табл. 1. Содержание породообразующих оксидов (мас. %), индикаторные соотношения и модули
[Table 1. Content of rock-forming oxides (wt.%), indicator ratios and modules]

Образец [Sample] Элементы, и модули [Elements and modules]	2000-01	2000-02	2001-01	2001-02	2001-03	2001-04	2001-05	2001-06
SiO ₂	54.95	70.48	80.13	53.97	65.98	68.71	57.00	75.11
TiO ₂	0.87	0.78	0.47	1.18	0.66	0.75	1.07	0.5
Al ₂ O ₃	21.70	13.74	10.05	19.88	14.00	17.87	19.09	14.07
Fe ₂ O ₃	3.82	2.73	3.09	9.51	4.75	3.01	8.78	3.05
FeO	3.25	1.64	0.34	0.78	1.06	0.45	0.7	0.41
MnO	0.11	0.09	0.04	0.04	0.07	0.09	0.05	0.02
MgO	3.08	2.31	0.49	1.51	1.83	0.6	1.32	0.62
CaO	0.29	0.75	0.48	0.3	2.47	0.48	0.35	0.37
Na ₂ O	0.58	0.31	0.47	1.49	0.96	0.76	1.63	0.65
K ₂ O	5.41	1.58	2.06	5.11	2.68	1.58	3.6	1.97
P ₂ O ₅	0.16	0.12	0.04	0.08	0.1	0.04	0.08	0.03
ппп	5.8	5.47	2.36	6.15	5.44	5.66	6.34	3.19
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100
log (SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	0.4	0.71	0.9	0.4	0.673	0.585	0.48	0.727
log (Fe ₂ O ₃ /K ₂ O)	-0.2	0.238	0.18	0.3	0.249	0.28	0.39	0.19
Na ₂ O+K ₂ O	5.99	1.89	2.53	6.6	3.64	2.34	5.23	2.62
ГМ	0.54	0.27	0.17	0.58	0.31	0.32	0.52	0.24
HKM	0.28	0.14	0.25	0.33	0.26	0.13	0.27	0.19
ФМ	0.19	0.10	0.05	0.21	0.12	0.06	0.19	0.05

Примечание: ГМ=(Al₂O₃+TiO₂+Fe₂O₃+FeO+MnO)/SiO₂; HKM=N₂O+K₂O/Al₂O₃, TM=TiO₂/Al₂O₃;

ФМ=(Fe₂O₃+FeO+MnO+MgO)/SiO₂[2].

[Note: ГМ=Al₂O₃+TiO₂+Fe₂O₃+FeO+MnO)/SiO₂; HKM=N₂O+K₂O/Al₂O₃, TM=TiO₂/Al₂O₃;

ФМ=(Fe₂O₃+FeO+MnO+MgO)/SiO₂[2].].

Геохимическая характеристика пород коры выветривания

Содержания главных породообразующих оксидов, литохимические модули и индикаторные соотношения, использованные для характеристики отложений и реконструкции условий их образования, приведены в таблице 1.

Исследованные породы характеризуются низким содержанием щелочей с заметным преобладанием калия над натрием и, по классификации Петтиджона [3], являются аркозами (таблица 1, рис. 3 а). На диаграмме $\log(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{K}_2\text{O})-\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ [4] фигуративные точки пород КВ распределены в полях глинистых сланцев, вакков и лититов – слюдистых песчаников (рис. 3 б). Следует отметить, что сланцы и метапесчаники верхнерифейской варысальской свиты, по которым развиты глинистые образования, являются метаморфизованными породами, имеющими существенно глинистый исходный состав.

По значениям гидролизатного модуля (ГМ) [2] глинистые образования КВ являются силитами и сиаллитами (три точки, соответствующие образцам, отличающимся максимальными содержаниями элементов-гидролизатов), глиноземистость которых может быть

обусловлена присутствием слюды в породах субстрата (рис. 4 а). На модульной диаграмме (Na₂O+K₂O)–ГМ [2] упомянутые выше образцы отличаются максимальными значениями гидролизатного модуля – ГМ (рис. 4 а).

Изученные породы характеризуются низкими значениями модуля нормированной щелочности НКМ (табл. 1, рис. 3 б) – за исключением отличающегося максимальной гидролизатностью обр. 2001-02, значения НКМ не превышает 0.3, считающегося признаком присутствия в породах неизмененного калиевого полевого шпата. На диаграмме (FeO+MgO)/(Al₂O₃+K₂O)–SiO₂ [5], показывающей присутствие в составе отложений обломков различных типов магматических пород, фигуративные точки пород с повышенной гидролизатностью образуют отдельную группу вне выделенных полей, а остальные тяготеют к полям кислых и средних магматических пород (рис. 5).

На диаграмме K/Al–Mg/Al [6] две точки (обр. 2001-02, 2000-01) расположены в области пород, в которых преобладает иллит (гидрослюда). В трех образцах (2001-01, 2001-05 и 2001-03) предполагается присутствие иллита (гидрослюда) и каолинита, а в трех образцах (2001-04, 2000-01 и 2000-02) – преобладание

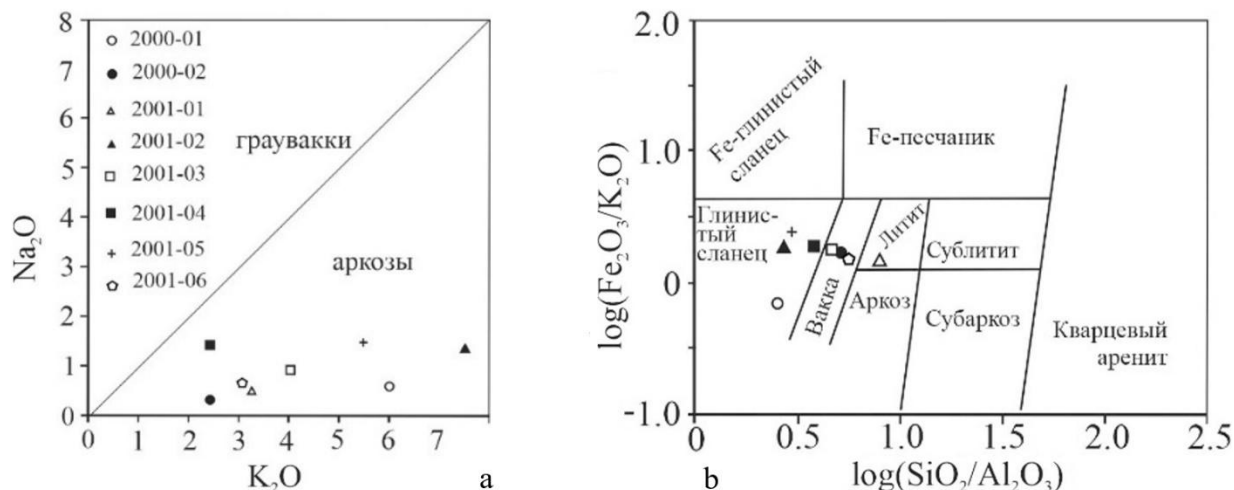


Рис. 3. Положение фигуративных точек составов пород на классификационных диаграммах: *a* – K_2O-Na_2O (по:[3]); *b* – $\log(Fe_2O_3/K_2O)-\log(SiO_2/Al_2O_3)$ (по:[4]).

[Fig. 3. Position of figurative points of rock compositions on classification diagrams: (*a*) – K_2O-Na_2O (after: [3]); (*b*) – $\log(Fe_2O_3/K_2O)-\log(SiO_2/Al_2O_3)$ (after: [4]).]

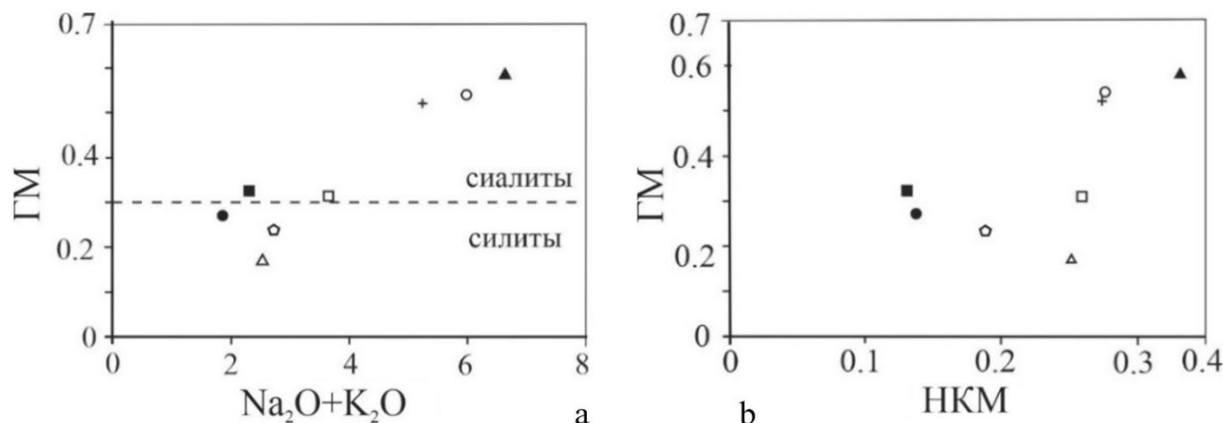


Рис. 4. Положение фигуративных точек составов пород на модульных диаграммах: *a* – $(Na_2O+K_2O)-GM$; *b* – $HKM-GM$ (по [2]). Условные обозначения на рис. 3а.

[Fig. 4. Position of figurative points of rock compositions on module diagrams: (*a*) – $(Na_2O+K_2O)-GM$; (*b*) – $NKM-GM$ (after: Yudovich, Ketris, 2000). Legend in Fig. 3 *a*.]

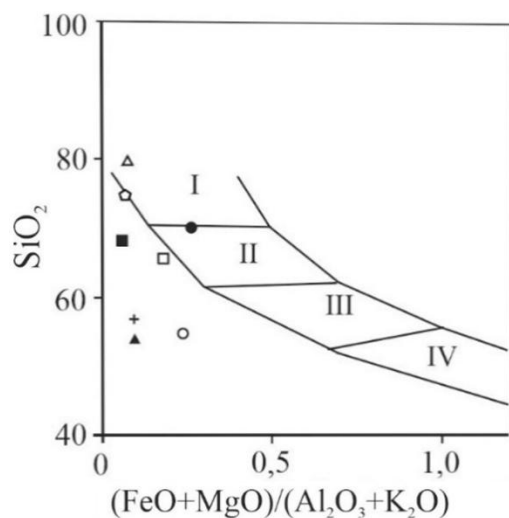


Рис. 5. Положение фигуративных точек составов пород диаграмме $(FeO+MgO)/(Al_2O_3+K_2O)-SiO_2$; где: *I* – риолиты, граниты; *II* – дациты, гранодиориты; *III* – андезиты, диориты; *IV* – базальты, габбро (по:[5]).

[Fig. 5. Position of figurative points of rock compositions in the diagram $(FeO+MgO)/(Al_2O_3+K_2O)-SiO_2$; where: (*I*) – rhyolites, granites; (*II*) – dacites, granodiorites; (*III*) – andesites, diorites; (*IV*) – basalts, gabbros (after: [5]).]

каолинита (рис. 6 а). Поскольку при построении этой диаграммы не учитывается содержащиеся в породе железо и натрия, то она не отражает присутствие альбита и железистой составляющей хлорита. На диаграмме НКМ–ФМ [2], используемой для разделения пород, различающихся по составу глинистой фракции, фигуративные точки пород распределены между несколькими полями, а обр. 2000-01 и 2001-02 в следствии низкого показателя ФМ, оказались вне выделенных полей (рис. 6 б). Значения фемического модуля (ФМ) для изученных пород составляет 0.05–0.21, при том, что максимальными значениями этого показателя характеризуются наиболее гидролизатные породы (табл. 2).

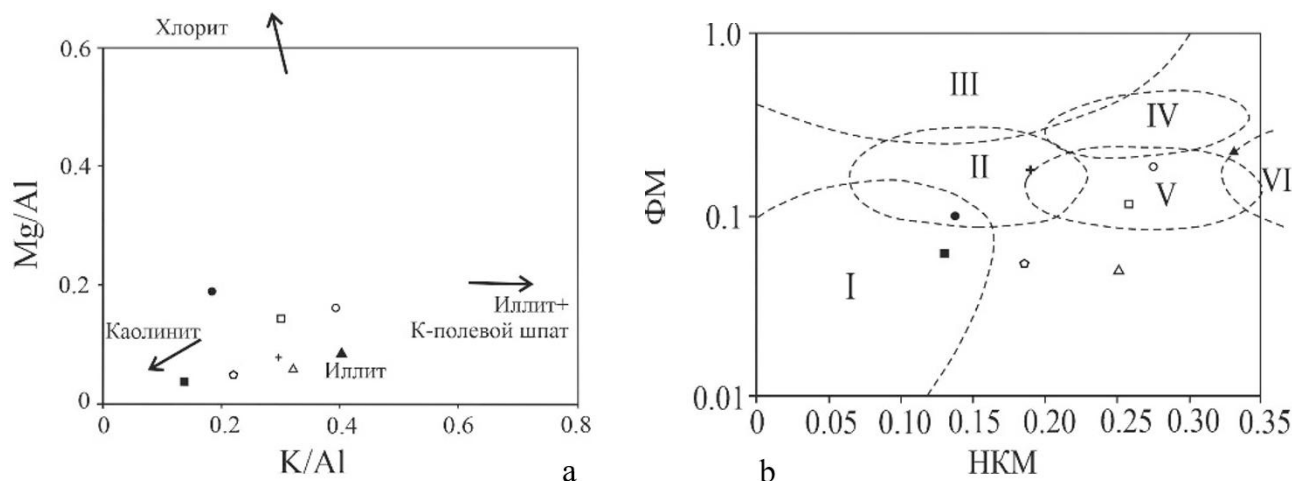


Рис. 6. Положение фигуративных точек пород на диаграммах: *a* – K/Al–Mg/Al (по: [6]; *b* – HKM–ФМ (по: [2]), где: *I* – преобладает каолинит, *II* – преобладает монтмориллонит, меньше каолинита, может присутствовать гидрослюда, *III* – преобладает хлорит, с подчиненной примесью железистых гидрослюда, *IV* – хлорит+гидрослюда, *V* – хлорит+монтмориллонит+гидрослюда, *VI* – гидрослюда с примесью полевых шпатов.

[Fig. 6. Position of figurative points of rocks on diagrams: (*a*) – K/Al–Mg/Al (after: [6]); (*b*) – HKM–ФМ (after: [2]), where: (*I*) – kaolinite predominates, (*II*) – montmorillonite predominates, less kaolinite, hydromica may be present, (*III*) – chlorite predominates, with a subordinate admixture of ferruginous hydromica, (*IV*) – chlorite+hydromica, (*V*) – chlorite+montmorillonite+hydromica, (*VI*) – hydromica with an admixture of feldspars.]

Табл. 2. Результаты рентгендифракционного анализа образцов
[Table 2. Results of X-ray diffraction analysis of samples]

№ п/п [No. in order]	Образец [Sample]	Фазовый состав [Phase composition]	
		Слоистые силикаты [Layered silicates]	Прочие [Others]
1	2000-01	Иллит-2M ₁ , -1M??, смектит, каолинит, хлорит?? [Illite-2M ₁ , -1M??, smectite, kaolinite, chlorite??]	Q
2	2000-02	Иллит-2M ₁ , Иллит-1M, смектит, каолинит, хлорит [Illite-2M ₁ , Illite-1M, smectite, kaolinite, chlorite]	Q, Fsp?
3	2001-01	Иллит-2M ₁ , Иллит-1M, каолинит [Illite-2M ₁ , Illite-1M, kaolinite]	Q, Fsp?
4	2001-02	Иллит-2M ₁ , -1M?, каолинит, диккит? [Illite-2M ₁ , -1M?, kaolinite, dickite?]	Q, гетит [goethite]
5	2001-03	Иллит-2M ₁ , -1M?, каолинит, смешанослойная фаза, хлорит [Illite-2M ₁ , -1M?, kaolinite, mixed-layer phase, chlorite]	Q, Fsp, гетит [goethite]
6	2001-04	Иллит-2M ₁ , каолинит [Illite-2M ₁ , kaolinite]	Q
7	2001-05	Иллит-2M ₁ , каолинит [Illite-2M ₁ , kaolinite]	Q, гетит [goethite]
8	2001-06	Иллит-2M ₁ , каолинит [Illite-2M ₁ , kaolinite]	Q

Примечание. Q – кварц; Fsp – полевой шпат; ? – минерал определен недостоверно или присутствует в незначительном количестве.

[Note: Q – quartz; Fsp – feldspar; ? – the mineral is not reliably identified or is present in insignificant quantities.]

По данным рентгендифракционного анализа в изученных образцах преобладающими слоистыми силикатами (глинистыми минералами) являются иллит упорядоченной политипной модификации 2M₁, присутствующий во всех породах и каолинит (табл. 2). Кроме того, в обр. 2000-01, 2000-02 и 2001-03 присутствуют разбухающие фазы – смектит и смешанослойный иллит/смектит. Хлорит отмечен в тех же образцах (в обр. 2001-03 – значительное количество). В обр. 2001-02 предположительно присутствуют реликты диккита. В первых пяти образцах также предполагается наличие политипной модификации 1M иллита,

что может свидетельствовать о вторичном преобразовании (выветривании) породы.

Содержания REE и их соотношения, приведены в таблице 3, в которую внесены так же результаты анализа неизмененных метапесчаников варысальской свиты (обр. 400308). Содержание REE в глинистых образованиях КВ и метапесчаниках варысальской свиты отличаются незначительно (табл. 3). Наибольшие количества REE (345 г/т), в том числе, ΣLREE (296 г/т), отмечаются в обр. 2001-02.

Графики распределения REE в глинистых образованиях и метапесчаниках варысальской свиты по

наклону кривых и интенсивности европиевого минимума близки с РААС (рис. 7). Для них характерен ярко проявленный европиевый минимум – значение Eu/Eu^* 0.54–0.76. Очевидно, что глинистые породы не претер-

пели значительных преобразований и унаследовали основные особенности пород варьсальской свиты, что отразилось на близких значениях соотношений Gd_N/Yb_N , Ce/Ce^* и $\Sigma Ce/\Sigma Y$ (табл. 3).

Табл. 3. Содержания РЗЭ и индикаторные соотношения, г/т
[Table 3. Contents of REE and indicator ratios, g/t]

Образец [Sample] Элементы и соотношения [Elements and relationships]	2000-01	2000-02	2001-01	2001-02	2001-03	2001-04	2001-05	2001-06	400308
La	31.9	29.2	18.3	74	36.4	36	60.6	20.3	40.8
Ce	65.7	60.5	43.1	114	65.6	75.3	107	45.8	84.3
Pr	8.09	7.52	4.94	19.1	9.1	9.64	15.6	5.59	10.5
Nd	30.6	28.2	18.3	71.5	34.9	35.1	59.7	20.4	40.9
Sm	6.31	5.9	3.69	14.4	7.75	7.08	12.6	4.74	8.34
Eu	1.22	1.32	0.75	2.88	1.47	1.7	2.23	0.84	1.59
Gd	6.42	5.45	3.51	14.5	7.37	6.32	12.2	4.32	7.23
Tb	0.9	0.79	0.49	2.21	1.1	0.85	1.8	0.69	1.21
Dy	5.38	4.96	2.69	13.1	6.5	4.6	10.8	4.15	7.53
Ho	1.04	0.99	0.53	2.62	1.32	1.01	2.24	0.87	1.53
Er	2.89	2.91	1.44	7.46	3.77	3.03	6.28	2.55	4.39
Tm	0.43	0.43	0.2	1.05	0.51	0.48	0.87	0.41	0.66
Yb	2.98	2.96	1.61	7.06	3.73	3.23	6.11	2.58	4.27
Lu	0.41	0.39	0.23	1.02	0.53	0.49	0.81	0.36	0.63
Y	29.1	26.2	13.9	75.8	35.4	28.7	61.1	24.2	41.8
LREE	144	133	89	296	155	165	258	98	186
HREE	20	19	11	49	25	20	41	16	27
Σ REE	164	152	100	345	180	185	299	114	214
HREE+Y	50	45	25	125	60	49	102	40	69
Σ REE+Y	193	178	114	421	215	214	360	138	256
Eu/Eu^*	0.58	0.70	0.63	0.60	0.59	0.76	0.54	0.56	0.61
La_N/Yb_N	7.23	6.67	7.68	7.08	6.59	7.53	6.70	5.32	6.46
Gd_N/Yb_N	1.75	1.49	1.77	1.66	1.60	1.59	1.62	1.36	1.37
Ce/Ce^*	0.95	0.95	1.05	0.71	0.84	0.94	0.81	1.00	0.95
$\Sigma Ce/\Sigma Y$	2.64	2.63	3.10	2.37	2.40	3.01	2.41	2.19	2.44

Примечания: $\Sigma Ce/\Sigma Y$, где ΣCe :(La–Eu), ΣY :(Gd–Lu, Y); La_N/Yb_N , Gd_N/Yb_N – нормировано на хондрит [7]; $Eu/Eu^*=Eu_N/(Sm_N+Gd_N)/2$ – нормировано на хондрит [8]; $Ce/Ce^*=(Ce_N/La_N+Pr_N)/2$, – нормировано к глинам платформ [9].
[Note: $\Sigma Ce/\Sigma Y$, where ΣCe :(La–Eu), ΣY :(Gd–Lu, Y); La_N/Yb_N , Gd_N/Yb_N – normalized to chondrite [7]; $Eu/Eu^*=Eu_N/(Sm_N+Gd_N)/2$ – normalized to chondrite [8]; $Ce/Ce^*=(Ce_N/La_N+Pr_N)/2$, – normalized to platform clays [9].]

Обсуждение результатов и выводы

Изученные глинистые породы коры выветривания представляют собой неметаморфизованный элювий по субстрату древних высокогидролизатных метатерригенных пород. Фигуративные точки глинистых образований, по соотношению K_2O-Na_2O являющихся аркозами, на диаграмме $\log(Fe_2O_{3\text{общ}}/K_2O)-\log(SiO_2/Al_2O_3)$ (рис. 5 б) расположены в поле вакков и глинистых

сланцев, в которое попали образцы, отличающиеся наибольшим содержанием слюд. Данные рентгенодифрактометрического анализа показали, что состав и соотношение глинистых минералов также повторяет особенности состава пород субстрата. В частности, отмечается присутствие диккита – низкотемпературного гидротермального минерала, встречающегося в ассоциации с сульфидами, и возможно, переотложенного

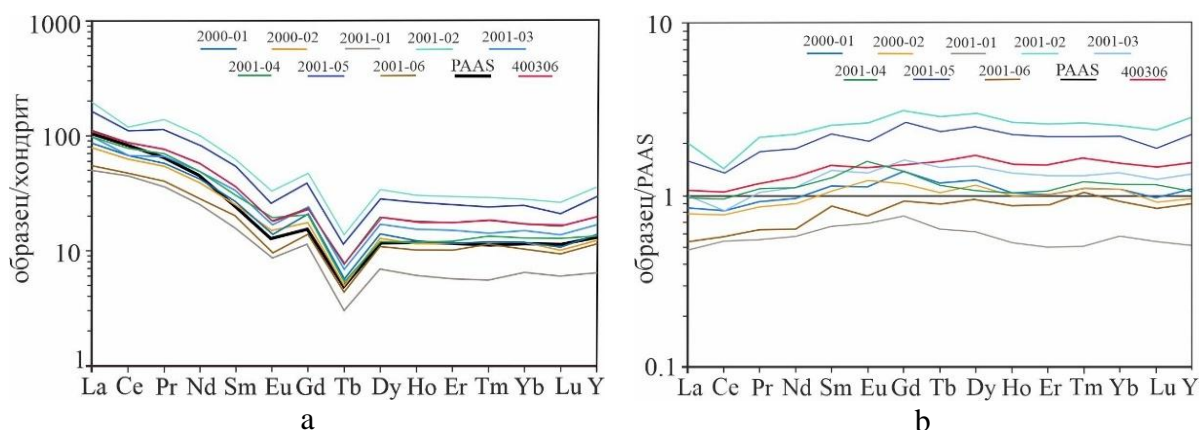


Рис. 7. Нормированные на хондрит спектры распределения содержаний REE (а) и нормированное на ПААС (по: [7]) содержание элементов-примесей в исходных песчаниках и глинистых породах (б).

[Fig. 7. Chondrite-normalized REE distribution spectra (а) and PAAS-normalized trace element content in the original sandstones and clayey rocks (b) (after: [7].)]

из содержащих сульфидную вкрапленность окварцованных метапесчаников. Появление неупорядоченных разбухающих смешанослойных образований (иллит/сметит, хлорит/сметит) свидетельствует о вторичном преобразовании. В большинстве образцов, помимо модификации 2М, присутствует слабоупорядоченный мусковитовый политип 1М₁, появление которого является диагностическим признаком процессов корообразования.

Содержание REE в рифейских песчаниках и глинистых образованиях КВ отличаются незначительно и близки к ПААС.

Такими образом, изученные глинистые образования КВ по отложениям верхнерифейской варысальской свиты незначительно отличаются от исходных пород по соотношению породообразующих элементов, содержанию и составу слюдястых минералов и диагностируются как породы зоны осветления и механической дезинтеграции, а кора выветривания относится к гидрослюдисто-каолининовому типу сиаллитной стадии выветривания.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балашов Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 268 с.
2. Кочетков О. С. Древние коры выветривания базитов и связь с ними полезных ископаемых Канино-Тиманской провинции. Геология и полезные ископаемые северо-востока Европейской части СССР и севера Урала. Труды VII геологической конференции Коми АССР. 1973. С 330–333.
3. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 536 с.
4. Тейлор С. З., МакЛеннон С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1998. 384 с.
5. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
6. Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // *J. Sed. Petrol.* 1998. Vol. 58. P. 820–829.
7. Kusunoki T., Musashino M. Comparison of the Middle Jurassic to Earliest Cretaceous sandstones from the Japanese Islands and South Sikhote-Alin // *Earth Science*. 2001. Vol. 55. No. 5. P. 293–306.
8. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Geological Society*. 1989. 42. P. 313–345. doi:10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19.
9. Tugeon S., Brumsack H.-J. Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian-Turonian boundary events (Cretaceous) in the Umbria-March Basin of central Italy // *Chem. Geol.* 2006. Vol. 234. P. 321–339.

Pre-Paleozoic weathering crust on the southeastern coast of the Kanin Peninsula

©2025 N. Yu. Nikulova¹✉, L. I. Bogatyrev¹, Yu. S. Simakova², A. E. Tsybul'skaya¹

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

² Institute of Geology, FIC Komi Scientific Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 54
Pervomayskaya st., 167982, Syktyvkar, Russian Federation

Abstract

Introduction: the Kanin Peninsula, which is a continuation of the Timan structures, has a similar geological structure and history of development. The weathering crusts, with which numerous deposits of ore and non-metallic minerals are associated in Timan, remain practically unexplored on the Kanin Peninsula. Geochemical study of weathering crusts – promising objects for searching for clay raw materials and placer deposits – is the basis for correlating paleontologically uncharacterized deposits, conducting paleogeographic and paleogeodynamic reconstructions, and clarifying the history of development and sedimentation patterns of a poorly studied region.

Methodology: in order to establish the compositional features and genetic affiliation of the developed at the contact rocks of the Riphean basement and Paleozoic deposits, clay formations of the weathering crust, described and tested in the bedrock outcrop on the sea coast of the Kanin Peninsula, a study was conducted of the composition of petrogenic oxides, rare earth elements and clay minerals.

Results and discussion: interpretation of the results of chemical analyses and the features of the distribution of REE and the phase composition of the clay fraction allowed us to conclude that the studied formations differ from the original rocks in the ratio of rock-forming elements, the content and composition of mica-ceous minerals and represent unmetamorphosed eluvium on the substrate of ancient highly hydrolyzed metaterigenous rocks.

Conclusion: the studied clay formations of the pre-Paleozoic weathering crust are diagnosed as rocks of the zone of lightening and mechanical disintegration, and the weathering crust belongs to the hydromica-kaolinite type of the siallitic stage.

Keywords: weathering crust, Vyr'salskaya suite, chemical composition, detrital material, Kanin Peninsula.

Funding: source of funding: the work was carried out within the themes of the All-Russian Geological Research Institute of A.P. Karpinsky (state assignment of the Federal Agency for Mineral Resources No. 049-00009-18-00) and the IG FRC Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (No. 122040600009-2

For citation: Nikulova N. Yu., Bogatyrev L. I., Simakova Yu. S., Tsybul'skaya A. E.) Pre-Paleozoic weathering crust on the southeastern coast of the Kanin Peninsula // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2025, no. 3, pp. 12–21. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/3/12-21>

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



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Natalia Yu. Nikulova, e-mail: Nataliya_Nikulova@karpinskyinstitute.ru

REFERENCES

1. Balashov Ju. A. *Geohimija redkozemel'nyh jelementov* [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow, Nauka publ., 1976, 268 p. (In Russ.)
2. Kochetkov O. S. Drevnie kory vyvetrivanija bazitov i svjaz' s nimi poleznyh iskopaemyh Kanino-Timanskoj provincii. Geologija i poleznye iskopaemye severo-vostoka Evropejskoj chasti SSSR i severa Urala. [Ancient weathering crusts of basites and the relationship with them of useful minerals of the Kanino-Timan province / Geology and useful minerals of the northeast of the European part of the USSR and the north of the Urals]. *Trudy VII geologicheskoy konferencii Komi ASSR* [Proceedings of the VII geological conference of the Komi ASSR]. Komi ASSR publ., 1973. P. 330–333. (In Russ.)
3. Pettidzhon F., Potter P., Siver R. (1976) *Peski i peschaniki* [Sands and sandstones]. Moscow, Mir publ., 1976. 536 p. (In Russ.)
4. Tejlor S. Z., MakLennon S. M. (1988) *Kontinental'naja kora: ee sostav i jevoljucija* [Continental crust: its composition and evolution]. Moscow, Mir publ., 1988. 384 p. (In Russ.)
5. Judovich Ja. Je., Ketris M. P. *Osnovy litohimii* [Fundamentals of lithochemistry]. Saint Petersburg, Nauka publ., 2000, 479 p. (In Russ.)
6. Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log date. *J. Sed. Petrol.*, 1998, vol. 58, pp. 820–829.
7. Kusunoki T., Musashino M. Comparison of the Middle Jurassic to Earliest Cretaceous sandstones from the Japanese Islands and South Sikhote-Alin. *Earth Science*, 2001, vol. 55, no. 5, pp. 293–306.
8. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processed. *Geological Society*, 1989, 42, pp. 313–345. doi:10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19.
9. Tugeon S., Brumsack H.-J. Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian-Turonian boundary events (Cretaceous) in the Umbria-March Basin of central Italy. *Chem. Geol.*, 2006, vol. 234, pp. 321–339.

Николова Наталья Юрьевна, д.г.-м.н., вед. геолог, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: Nataliya_Nikulova@karpinskyinstitute.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1511-6124>.

Богатырев Леонид Игоревич, к.г.-м.н., зам. нач. отделом РГ и ПИ полярных и приполярных территорий, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: leonid_bogatyrev@karpinskyinstitute.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7577-3107>

Симакова Юлия Станиславовна, к.г.-м.н., ст.н.с., ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Российская Федерация; e-mail: yssimakova@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0409-4019>

Цыбульская Александра Евгеньевна, вед. геолог, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: Aleksandra_Tsybulskaya@karpinskyinstitute.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8130-5867>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Natalia Yu. Nikulova, Dr. habil. in Geol.-Min., Leading geologist, All-Russian Research Geological Institute named after A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: Nataliya_Nikulova@karpinskyinstitute.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1511-6124>

Leonid I. Bogatyrev, PhD in Geol.-Min., Deputy Beginning Department of RG and PI of Polar and Subpolar Territories, All-Russian Research Geological Institute named after A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: leonid_bogatyrev@karpinskyinstitute.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7577-3107>

Yulia St. Simakova, PhD in Geol.-Min., Senior Researcher, Institute of Geology, Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktvykar, Russian Federation; e-mail: yssimakova@rambler.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0409-4019>

Alexandra E. Tsybulskaya, Leading Geologist, All-Russian Research Geological Institute named after A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: Aleksandra_Tsybulskaya@karpinskyinstitute.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8130-5867>

All authors have read and approved the final manuscript.