

Вещественный состав и особенности формирования метаосадочных пород фундамента Вадьявожского выступа (Немская возвышенность, Южный Тиман)

Приведены результаты изучения вещественного состава метатерригенных пород верхнего рифея Немской возвышенности Южного Тимана. На основе литологических и геохимических данных установлено, что исходный осадок образовался в мелководных и прибрежных условиях холодного, хорошо аэрируемого бассейна со слабой гидродинамикой, в стабильных геотектонических условиях пассивной континентальной окраины и в отсутствие вулканической активности. В составе пород в различных соотношениях имеют место рециклированные обломки, перетолженные из древних осадочных толщ, и обломки слабоизмененных гранитов.

Ключевые слова: *метапесчаник, алевролит, сланец, условия образования, обломочный материал, химический состав.*

N. YU. NIKULOVA (IG Komi SC UB RAS)

Lithological and chemical composition and depositional conditions of metasediment basement rocks of the Vadyavog prominence (Nem upland, South Timan)

The results of studying of the Upper Riphean metaclastic rock composition from the Nem upland of South Timan are presented in the article. Lithological and geochemical investigation of the rocks gave the opportunity to establish that these rocks were formed at the coastal-marine conditions of cold well-aerated basin with weak hydrodynamic regime. The tectonic conditions were calm and volcanic activity was absent at that time. It was found that recycled clastic fragments that redeposited from ancient sedimentary rock material and fragments of weakly altered granite are presented in the rocks in different ratios.

Keywords: *metasandstone, aleurolite, shale, clastic material formation, chemical composition.*

Введение. Изученный фрагмент разреза средней подсвиты джежимской свиты ($R_3d\dot{z}_2$) верхнего рифея вскрыт карьером на водораздельной поверхности между реками Нем и Кама (рис. 1, *a*) в равнинном районе с развитым осадочным чехлом, где выходы пород фундамента крайне редки. Карьер Вадьявож в свое время привлекал внимание исследователей из производственных и научных организаций как один из объектов, перспективных на обнаружение алмазных россыпей вишерского типа, приуроченных к структурным корам выветривания в палеодепрессиях допалеозойского фундамента [1–3]. Основное внимание исследователей привлекала собственно кора выветривания. Выявление и интерпретация геохимических особенностей верхнерифейской толщи позволяют провести реконструкцию палеотектонических условий и установить последовательность постдиagenетических преобразований осадочной толщи, накопление которой предшествовало глобальной структурно-тектонической перестройке на рубеже рифея – венда и которая была субстратом при образовании коры выветривания на континенте, просуществовавшей до начала позднего девона. Изучение вещественного состава позволило предположить наличие источников вещества и факторов, оказавших влияние на формирование

современного облика древних осадочных толщ, и выявить основные диагностические признаки для корреляции пространственно разобщенных разрезов.

Объект и методы исследования. Объектом исследования являются метатерригенные отложения средней подсвиты джежимской ($R_3d\dot{z}_2$) свиты верхнего рифея (рис. 1, *b*), описанные и опробованные в ходе полевых работ в 2016 г. в карьере Вадьявож, расположенном на Немской возвышенности в крайней юго-восточной части Южного Тимана. Для изучения петрографического состава горных пород было проанализировано более 50 шлифов. Выделенная по стандартной методике (дробление, разделение на фракции) тяжелая фракция протолочных проб просматривалась под бинокляром (25 проб). Для микрозондового анализа использовался сканирующий электронный микроскоп JSM-6400 с энергетическим спектрометром Link (оператор В. Н. Филиппов). Содержания породобразующих оксидов определены весовым химическим методом в лаборатории Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Интерпретация результатов химических анализов проведена с помощью известных методик, позволяющих установить генетическую принадлежность, источники

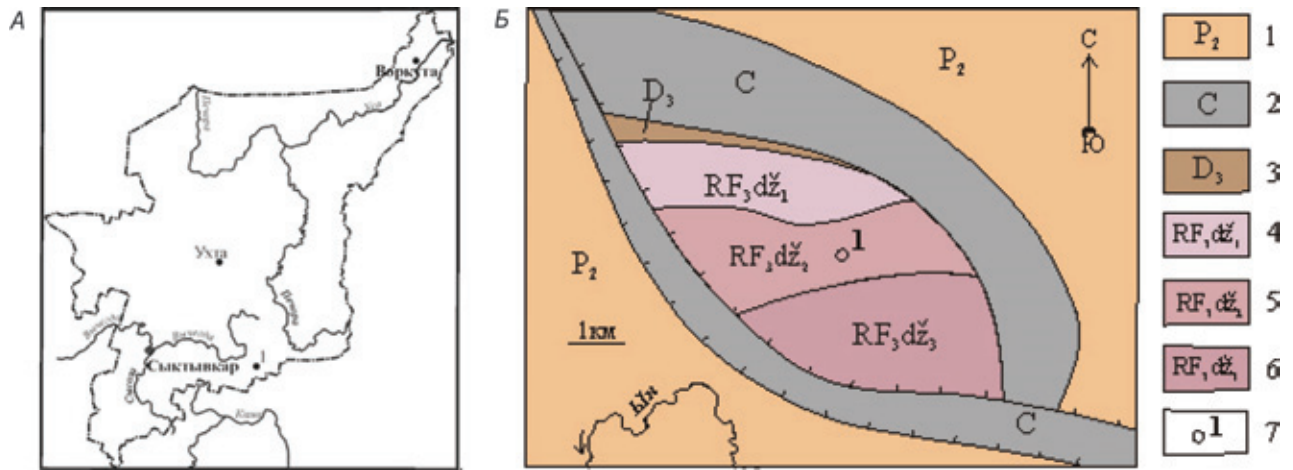


Рис. 1. Схема расположения изученного разреза (А) и схематическая геологическая карта (Б) Вадьявожской структуры (по С. И. Кириллину, 2001)

1 – пермская система: известняки, доломиты, гипсы, ангидриты, глины; 2 – карбоновая система: известняки, доломиты, глинистые известняки, глины, песчаники известковистые; 3 – девонская система: известняки, доломиты; 4 – верхнерифейская эра: песчаники с прослоями сланцев; 5 – среднерифейская эра: сланцы, алевролиты, песчаники, гравелиты, брекчии; 6 – нижнерифейская эра: песчаники, сланцы; 7 – изученный разрез

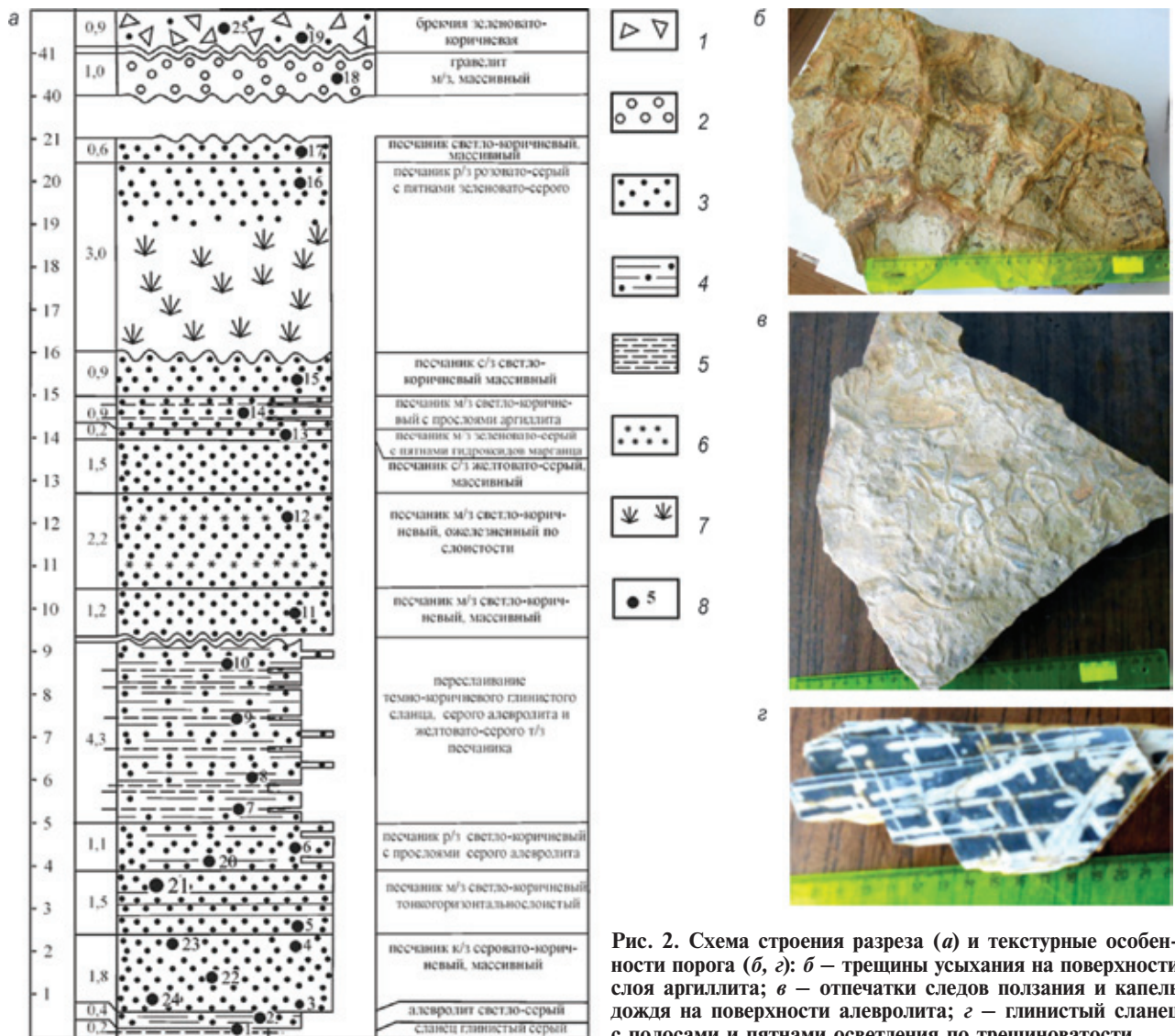


Рис. 2. Схема строения разреза (а) и текстурные особенности порога (б, в): б – трещины усыхания на поверхности слоя аргиллита; в – отпечатки следов ползания и капель дождя на поверхности алевролита; з – глинистый сланец с полосами и пятнами осветления по трещиноватости

1 – брекчия; 2 – гравелит; 3 – песчаник; 4 – алевролит; 5 – сланец; 6 – ожелезнение; 7 – задернованные интервалы; 8 – точки отбора проб

терригенного материала и условия накопления отложений [4–17].

Геологическое строение района. В геологическом строении территории принимают участие верхнерифейские, палеозойские и кайнозойские образования. Верхнерифейские отложения джежимской ($R_3d\dot{z}_1$) свиты слагают ядро Вадьявожской антиклинальной структуры, представляющей собой ограниченный разрывными нарушениями выступ фундамента Тимано-Печорской платформы в зоне её сочленения с Тиманским складчато-глыбовым сооружением и эпикарельской Восточно-Европейской платформой. Описание геологического строения территории приводим по материалам С. И. Кириллина (Групповая геологическая съемка м-ба 1 : 200 000 на территории листов Р-40-XX, Р-40-XXVI. Сыктывкар, 2002). В состав джежимской свиты входят три подсвиты. Нижняя подсвита ($R_3d\dot{z}_1$) нигде не обнажается и, по данным бурения, сложена преимущественно аркозовыми песчаниками с прослоями глинистых сланцев. Мощность нижней подсвиты более 750 м. Средняя подсвита ($R_3d\dot{z}_2$), также не имеющая естественных выходов, в нижней части вскрыта карьером, где представлена переслаивающимися песчаниками, глинистыми сланцами и алевролитами (рис. 2). В песчаниках нередко отмечаются пятна и стяжения черных землистых гидроксидов марганца. По плоскостям напластования в глинистых сланцах и алевролитах отмечаются трещины усыхания, выполненные песчанком, извилистые ходы илоедов, а иногда и отпечатки капель дождя (рис. 2, б, в). Темно-бурые глинистые сланцы разбиты микротрещинками, пересекающимися под углом примерно 60° , вдоль которых породы сильно осветлены (рис. 2, з).

Верхняя часть разреза, вскрывающаяся на плоской задернованной поверхности дна карьера в виде разрозненных выходов, представлена тектонической брекчией. Возраст отложений определен на основании находок верхнерифейских микрофоссилий. Породы разбиты выполненными кварцем трещинами толщиной от нескольких миллиметров до 3–4 см, ориентированными в двух направлениях, с азимутами простирания 120° и 40° и углами падения 55° и 30° , часто пересекающимися. Выполняющий трещины молочно-белый жильный кварц средне-крупнозернистый, часто с пленками и пятнами гидроокислов железа. В основной массе жильного кварца нередко присутствуют прожилки скрытокристаллического и цепочки мелкошестичатого гематита и небольшие остаточные полости с частично ограниченными кристаллами кварца и гематита, образующего отдельные идиоморфные изометричные кристаллы размером до 3–4 мм. Отмечаются открытые трещины с нарощими на их стенки мелкими прозрачными кристаллами кварца. Кварцевые жилы выполняют трещины растяжения и мелкие разрывные нарушения, образование которых связано с появлением в раннюю юру взбросо-надвиговых дислокаций, ограничивающих выступ фундамента в ядре Вадьявожской антиклинали. Выше по разрезу скважинами за пределами карьера вскрыта толща доломитов (около 130 м), в свою очередь перекрывтая переслаивающимися песчанистыми алевролитами и глинистыми сланцами (около 50 м). Верхняя подсвита джежимской свиты

($R_3d\dot{z}_3$), нигде не выходящая на дневную поверхность и вскрытая горными выработками, сложена кварцитовидными песчаниками с редкими прослоями глинистых сланцев и гравелитов. Мощность верхней подсвиты джежимской свиты около 100 м. Палеозойские породы представлены верхнедевонскими, каменноугольными и пермскими известняками и доломитами с прослоями гипсов, ангидритов, глин и известковистых песчаников.

Литолого-геохимическая характеристика отложений. По составу и структурно-текстурным характеристикам выделяется пять литологических типов горных пород: гравелиты, брекчии, кварцитопесчаники, алевролиты, глинистые сланцы и тонкослоистые сланцево-алевролитовые породы. В сланцевых и алевролитовых слоях из нижней части разреза присутствуют прослои, линзы и различной формы включения песчаного материала. Взаимоотношения песчаных включений и вмещающих их слоев сложные – они часто нарушают глинистые прослои, что может стать результатом заполнения более грубым материалом трещин усыхания и ходов илоедов или механического размучивания придонного слоя (рис. 3, а). Бимодальное чередование глинистых и песчаных неравномерно зернистых слойков, присутствие нитевидных обрывков углисто-глинистого вещества (рис. 3, б), песчаных промоин, заполненных плохосортированным песчаником, характерны для отложений, сформированных в малоподвижной мелководной обстановке.

Метапесчаники составляют основную часть изученного разреза. Они сложены преимущественно окатанными зёрнами мелко-среднепесчаной размерности с развитым регенерационным кварцевым, реже поровым хлоритовым цементом (рис. 3, в, г). Иногда в них наблюдается существенно железистый гелеобразный или гетитовый цемент, что, по всей видимости, связано с метасоматическими изменениями пород в зонах с повышенной проницаемостью. Обломки представлены в основном кварцем, изредка встречаются слойки, содержащие единичные зёрна пелитизированных и серицитизированных полевых шпатов, микрокварцитов и кристаллических полевошпат-кварцевых пород (рис. 3, в). Акцессорные минералы – единичные зёрна эпидота, циркона и монацита. Важной особенностью этих пород является обломочный биотит (рис. 3, г) – минерал первого цикла выветривания. Его наличие вместе с кварц-полевошпатовыми обломками указывает на то, что одним из источников вещества могли быть расположенные поблизости граниты.

Глинистые сланцы, сложенные тонкодисперсным, окрашенным гидроксидами железа микрошестичатым слюдистым агрегатом, содержат алевролитовые прослои, в основании которых часто наблюдаются цепочки хорошо окатанных песчаных зёрен (рис. 3, д). В центральной части разреза породы зачастую представляют собой тонкое чередование глинистых и алевролитовых слойков. В сланцах из основания разреза (обр. 1) таких слойков мало и мощность их незначительна.

Гравелит сложен хорошо окатанными обломками размером 2–5 мм, редки гравийные зёрна размером до 1 см. Более 90 % обломков представлено кварцем, реже встречаются гематит-кварц-серицитовый сланец, микрокварцит и кварц-полевошпатовая идиоморфнозернистая порода.

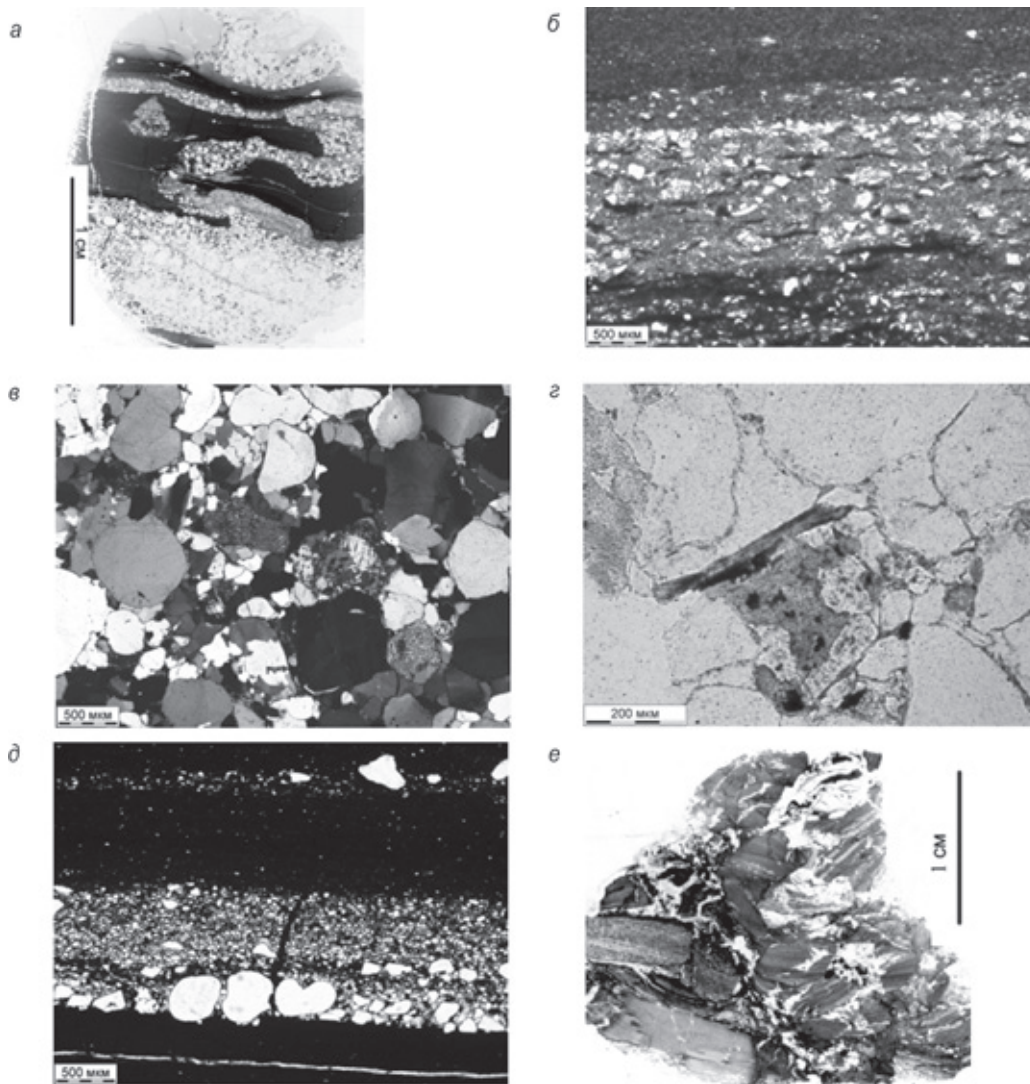


Рис. 3. Структурно-текстурные особенности отложений

a – взаимоотношения песчаных и глинистых слоев, сканированный шлиф, обр. 21; *б* – обрывки углисто-глинистого вещества в алевритовом слое, обр. 2; *в* – кварцито-песчаник с хорошо окатанными регенерированными зернами кварца, обломками кварцита, кварц-полевшпатовой породы и серицитизированными зернами полевого шпата, обр. 13; *г* – обломочный биотит, регенерационный кварцевый и поровый хлоритовый цемент в песчанике, обр. 15; *д* – алевритовый с песчаными зернами слоев в глинистом сланце, обр. 9; *е* – структура брекчии, обр. 19. Изображения *a*, *д* – сканированные шлифы; *б*, *г*, *е* – в параллельных николях; *в* – в скрещенных николях

Акцессорные минералы – единичные зерна эпидота, циркона и монацита. Порода разбита многочисленными, состоящими из хлорита и бурой слюды (биотита?) залеченными трещинами, с которыми связаны скопления новообразованных титаниста, турмалина, гематита, зональные зерна гетита и единичные идиоморфные кристаллы монацита.

Брекчия представляет собой зеленовато-серую дресвяно-щебневую несортированную породу, сложенную неокатанными обломками различного размера, расположенными хаотически или вдоль слабопрослеживающихся слоев. Обломки представляют собой фрагменты преимущественно сланцево-алевритовых и песчаных слоев, аналоги которых описаны в разрезе (рис. 3, *e*). Промежутки между обломками заполнены материалом песчаной, алевритовой и аргиллитовой размерности, частично жильным кварцем, а наиболее часто биотит-хлоритовыми лучистыми образованиями или аморфными гидроокислами железа. В межзерновом

пространстве встречаются редкие зерна эпидота, циркона и новообразованный микроагрегатный титанит.

Минералогический анализ тяжелых фракций проточных проб показал постоянное присутствие во всех выделенных литологических типах пород ограниченного набора акцессорных минералов: лейкоксена, гематита, гетита, турмалина, циркона, гематита, гидроксидов железа и марганца. Реже отмечаются рутил, титанит, эпидот, пирит и монацит. Состав монацита по результатам анализа 11 зерен: P_2O_5 20,71–33,66, CaO 0–1,4, La_2O_3 6,05–18,27, Ce_2O_3 23,51–39,6, Pr_2O_3 0–4,76, Nd_2O_3 5,32–19,41, Sm_2O_3 0–2,18, Gd 0–2,02, ThO_2 0–2,07. Гидроксиды марганца представлены агрегатными зернами минералов состава $(BaMn^{2+}Mn_4^{4+}O_{10} \cdot 2H_2O)$, содержащих до 8,62 мас. % BaO .

Содержания главных породообразующих оксидов, литохимические модули и индикаторные соотношения, применяемые при реконструкциях

Содержание породообразующих оксидов, мас. %

Номер образца	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	Сумма
1	57,78	0,78	20,43	3,94	0,61	0,012	3,00	0,20	0,38	7,98	0,054	5,01	100,18
2	60,60	0,57	15,03	9,80	0,49	0,024	2,13	0,20	0,38	6,34	0,150	5,06	100,77
3	96,14	0,08	1,84	0,08	0,30	0,000	0,30	0,10	0,09	0,91	0,017	0,65	100,51
4	96,26	0,04	1,02	0,27	0,31	0,000	0,10	0,20	0,08	0,62	0,018	0,53	99,45
5	90,82	0,14	3,8	0,61	0,35	0,000	0,60	0,20	0,16	2,01	0,030	1,27	99,99
6	93,05	0,07	2,3	1,70	0,27	0,000	0,20	0,10	0,10	1,02	0,035	1,20	100,05
7	70,43	0,44	10,52	7,40	0,36	0,030	1,37	0,20	0,29	3,38	0,270	4,51	99,20
8	62,76	0,71	18,26	2,58	0,58	0,000	2,62	0,10	0,36	6,58	0,071	5,44	100,06
9	66,86	0,63	16,17	2,36	0,45	0,000	2,03	0,20	0,36	6,97	0,086	3,95	96,12
10	77,14	0,45	10,4	1,45	0,28	0,009	0,89	0,24	0,29	5,01	0,071	2,68	98,91
11	93,92	0,07	2,66	0,56	0,13	0,009	0,09	0,24	0,09	0,91	0,028	1,28	99,99
12	93,06	0,07	3,05	0,73	0,15	0,009	0,17	0,12	0,08	0,85	0,034	1,44	99,76
13	91,88	0,07	3,34	0,75	0,30	0,048	0,40	0,24	0,10	0,84	0,034	1,94	99,94
14	89,10	0,10	4,26	1,55	0,10	0,100	0,54	0,12	0,12	1,30	0,051	2,37	99,71
15	93,36	0,07	2,75	0,72	0,13	0,210	0,16	0,12	0,09	0,97	0,029	1,43	100,04
16	89,66	0,16	4,47	1,15	0,15	0,009	0,60	0,12	0,15	1,68	0,041	1,86	100,05
17	93,38	0,08	2,74	0,75	0,33	0,009	0,34	0,12	0,09	0,99	0,030	1,45	100,31
18	91,79	0,01	1,91	3,04	0,47	0,001	0,04	0,06	0,10	0,66	0,063	1,47	99,61
19	53,08	0,53	12,78	18,91	0,20	0,460	1,27	0,24	2,44	2,02	0,220	7,04	99,19
25	56,00	0,64	16,37	12,00	0,27	0,052	1,97	0,40	0,54	3,92	0,250	7,43	99,84

условий образования отложений, приведены в табл. 1 и 2.

На классификационной диаграмме $\log(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{K}_2\text{O}) - \log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ [12] фигуративные точки кварцитопесчаников распределены между полями сублитов и лититов, две точки (обр. 3 и 4), отличающиеся максимальным содержанием кремнезема, попали в поле кварцевых аренитов, а гравелиты обр. 18 – в поле железистых песчаников (рис. 4, а). Фигуративные точки сланцево-алевролитовых пород находятся в поле вакков, точки сланцев из нижней части разреза, содержащих минимальное количество алевритового материала, расположены на границе вакков – глинистых сланцев. В поля глинистых и железистых сланцев попали точки брекчий (образцы 19 и 25), состоящих из обломков сланцево-алевритовой породы, аналогичной описанной в средней части разреза (образцы 7–9), в полостях между которыми и по трещинам развиты новообразованные гематит, гетит и слюды.

На треугольной диаграмме, построенной в координатах Si–Al–Fe [15], в поле аркозов расположены фигуративные точки кварцитопесчаников и сланцево-алевролитовых пород, а точки глинистых сланцев – в поле субграувакк вблизи гранитной части линии тренда гранит – базальт (рис. 4, б). Фигуративные точки брекчий также располагаются в поле субграувакк. Если учесть, что брекчий сложены сланцево-алевритовыми обломками, аналогичными скрывающимися в средней части разреза (образцы 7–9), то их смещение относительно ненарушенных сланцево-алевритовых пород в поле более железистых и гидролизатных образований объясняется исключительно постдиагенетическими процессами. Расположение точек собственно сланцево-алевритовых пород отражает соотношение

в них алевритового (тонкопсаммитового) и глинистого материала, с уменьшением доли которого состав пород постепенно сближается с составом песчаников.

На диаграмме F3–F4 [17], применяемой для установления источников поступления обломочного материала, фигуративные точки распределены между полем богатых кварцем осадочных образований и изверженных пород кислого состава (рис. 4, в).

Точка, соответствующая сланцево-алевритовой породе обр. 7, попала в поле изверженных пород среднего состава вследствие повышенного по сравнению с окружающими породами содержания железа (табл. 1). Расположение фигуративных точек гравелитов и брекчий в поле изверженных пород основного состава и вне выделенных полей обусловлено высоким содержанием железа и щелочей, связанных с гидротермальным воздействием.

Анализ петрохимических модулей $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, ГМ, НКМ, ТМ, ФМ и ЖМ позволяет предположить присутствие источников вещества и условия формирования отложений [6, 7]. По значениям ГМ (гидролизатного модуля) кварцитопесчаники являются гипер- и суперсилитами [7] и характеризуются высоким уровнем седиментационной зрелости, сланцево-алевритовые породы из средней части разреза относятся к нормо- и миосилитам, глинистые сланцы – к нормосилитам, а фигуративные точки брекчий попадают в области суперсилитов и гипогидролизатов. Повышенная гидролизатность брекчий объясняется их постдиагенетическими изменениями.

По показателю щелочности (значению НКМ, эквиваленту коэффициента Миддлтона [14]), превышающему пороговое значение 0,3, все фигуративные точки, за исключением кварцитопесчаника

Номер образца	L1	L2	F1	F2	F3	F4	Na ₂ O + K ₂ O	ГМ	НКМ	ТМ	ФМ	ЖМ
1	-0,24	0,45	-2,95	-10,05	7,12	4,62	8,36	0,45	0,41	0,04	0,13	0,22
2	0,21	0,61	-3,89	-7,36	2,47	-0,27	6,72	0,43	0,45	0,04	0,21	0,66
3	-0,35	1,72	-3,79	-0,07	11,65	6,59	1,00	0,02	0,54	0,04	0,01	0,20
4	-0,01	1,97	-3,81	0,83	10,87	1,50	0,70	0,02	0,69	0,04	0,01	0,55
5	-0,30	1,38	-3,55	-1,31	11,97	5,97	2,17	0,05	0,57	0,04	0,02	0,24
6	0,23	1,61	-3,95	0,14	0,67	-4,11	1,12	0,05	0,49	0,03	0,02	0,83
7	0,36	0,83	-2,82	-0,83	-1,69	-2,11	3,67	0,27	0,35	0,04	0,13	0,71
8	-0,31	0,54	-2,65	-7,36	6,68	4,75	6,94	0,35	0,38	0,04	0,09	0,17
9	-0,39	0,62	-2,70	-7,86	9,08	4,97	7,33	0,29	0,45	0,04	0,07	0,17
10	-0,85	0,87	-3,10	-4,18	10,87	4,59	5,30	0,16	0,51	0,04	0,03	0,16
11	0,00	1,55	-3,79	0,71	3,94	-0,56	1,00	0,04	0,38	0,03	0,01	0,26
12	0,10	1,48	-3,76	0,83	1,30	-1,04	0,93	0,04	0,30	0,02	0,01	0,28
13	0,30	1,44	-3,73	0,84	0,46	0,20	0,94	0,05	0,28	0,02	0,02	0,32
14	0,11	1,32	-3,92	0,75	1,55	0,38	1,42	0,07	0,33	0,02	0,03	0,40
15	-0,05	1,53	-4,43	1,19	3,84	-0,25	1,06	0,04	0,39	0,03	0,01	0,38
16	-0,10	1,30	-3,66	-0,41	5,76	3,11	1,83	0,07	0,41	0,04	0,02	0,28
17	0,05	1,53	-3,76	0,14	3,68	1,16	1,08	0,04	0,39	0,03	0,02	0,39
18	0,66	1,68	-16,25	-19,38	-16,25	-19,38	0,76	0,06	0,40	0,005	0,04	1,83
19	0,98	0,62	-5,34	2,39	-15,24	-14,02	4,46	0,62	0,35	0,04	0,39	1,47
25	0,50	0,53	-3,51	-1,48	-4,83	-3,64	4,46	0,52	0,27	0,04	0,26	0,72

Примечание:

L1 = $\log(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{K}_2\text{O})$; L2 = $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$.

F1 = $0,303 - 0,447\text{SiO}_2 - 0,972\text{TiO}_2 + 0,008\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,267\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,208\text{FeO} - 3,082\text{MnO} + 0,14\text{MgO} + 0,195\text{CaO} + 0,719\text{Na}_2\text{O} - 0,032\text{K}_2\text{O} + 7,51\text{P}_2\text{O}_5$;

F2 = $43,57 - 0,421\text{SiO}_2 + 1,988\text{TiO}_2 - 0,526\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,551\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,61\text{FeO} + 2,72\text{MnO} + 0,881\text{MgO} - 0,907\text{CaO} - 0,177\text{Na}_2\text{O} - 1,84\text{K}_2\text{O} + 7,244\text{P}_2\text{O}_5$;

F3 = $30,638\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12,54\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7,329\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12,031\text{NaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35,402\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6,382$;

F4 = $56,5\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10,897\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 30,875\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5,404\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11,112\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3,89$, молекулярные количества.

ГМ = $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$; НКМ = $\text{N}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$; ТМ = $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; ФМ = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2$;

ЖМ = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$, мас. %.

СИА = $100\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$,

ICV = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Ca}_2\text{O} + \text{Mg}_2\text{O} + \text{TiO}_2)/\text{Al}_2\text{O}_3$

CIW = $100\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$, молекулярные количества

и брекчии, расположены в области пород, в составе которых, по мнению Я. Э. Юдовича и М. П. Кетрис [7], присутствует неизменный калиевый полево-го шпат и, следовательно, вулканогенная примесь. Максимальные значения модуля НКМ соответствуют наименее гидролизатным породам, содержащим первые проценты Al_2O_3 (табл. 1), от которого зависят значения обоих модулей. Высокая величина НКМ для тонкообломочных пород означает присутствие в них «дисперсных частиц полевых шпатов» [6].

Фемический модуль (ФМ), отражающий интенсивность выветривания и захоронения вещества, для кварцито-песчаников не превышает 0,03, для сланцево-алевроитовых пород составляет 0,07–0,13. Повышенным значением ФМ > 0,1, свойственным вулканокластическим грауваккам [6], отличаются алевролиты из нижней части разреза (обр. 2). Наиболее высокие значения фемического модуля имеют глинистые породы и брекчии, для которых значения ФМ, как и ЖМ, превышают значения, характерные для осадочных пород (табл. 2).

По значению титанового модуля все породы относятся к нормотитанистым (табл. 2). Значение ТМ глинистых пород близко к средним значениям ТМ для глинистых пород рифея – венда, а значения этого модуля для песчаных пород

ниже характерных для этого стратиграфического интервала показателей. Пониженная по сравнению с тонкозернистыми породами титанистость песчаников является признаком петрогенных отложений [7]. Зависимости титанистости от щелочности НКМ–ТМ нет, породы как с минимальной, так и с максимальной щелочностью имеют близкие значения ТМ, что указывает на отсутствие зависимости титанистости от динамических фаций седиментогенеза. Отсутствие корреляции между титановым и фемическим модулями подтверждает зависимость низких значений ТМ первичного субстрата от метаосадочных пород.

Таким образом, значения и соотношения петрохимических модулей отражают колебание доли рециклированных кварцевых пород фундамента в составе обломочной части отложений и вклад в формирование их вещественного состава различных источников: выветрелых метаморфических образований древнего фундамента континентальных блоков, слабоизмененных гранитов, а также влияния постдиагенетических процессов, связанных главным образом с воздействием во время образования кварцевых жидкостей растворов, содержащих в том числе ассимилированные из подстилающих толщ химические элементы.

и индикаторные соотношения

	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O/Na ₂ O	CIA	CIW	ICV	Fe/Mn	(Fe + Mn)/Ti	Al/(Al + Fe + Mn)	K ₂ O/Al ₂ O ₃
	2,83	21,00	67,92	95,38	1,02	347,56	6,93	0,77	0,39
	4,03	16,68	65,64	93,82	1,35	389,29	21,23	0,52	0,42
	52,25	10,11	58,27	84,78	1,22	3 733,69	6,03	0,77	0,49
	94,37	7,75	46,60	67,29	1,61	5 550,08	17,93	0,56	0,61
	23,90	12,56	57,50	85,83	1,29	9 022,34	8,33	0,74	0,53
	40,46	10,20	61,28	86,90	1,36	18 063,89	33,34	0,47	0,44
	6,69	11,66	70,00	92,59	1,26	234,83	20,77	0,50	0,32
	3,44	18,28	69,76	95,93	0,94	29 123,29	5,30	0,81	0,36
	4,13	19,36	65,49	94,41	0,99	25 831,49	5,30	0,81	0,43
	7,42	17,28	62,09	91,92	0,97	176,74	4,59	0,82	0,48
	35,31	10,11	62,84	81,97	0,85	70,70	11,91	0,74	0,34
	30,51	10,63	70,56	89,70	0,74	89,99	14,90	0,72	0,28
	27,51	8,40	68,82	84,74	0,93	20,39	18,94	0,69	0,25
	20,92	10,83	69,99	91,10	1,01	15,00	20,67	0,65	0,31
	33,95	10,78	65,96	88,24	0,86	3,72	18,03	0,65	0,35
	20,06	11,20	66,14	90,57	1,06	132,13	9,67	0,72	0,38
	34,08	11,00	65,54	88,20	1,05	112,07	16,23	0,65	0,36
	48,06	6,60	65,86	87,47	1,59	2 144,00	415,73	0,29	0,35
	4,15	0,83	65,80	74,17	1,77	37,56	43,24	0,33	0,16
	3,42	7,26	73,60	91,01	1,18	213,63	22,53	0,50	0,24

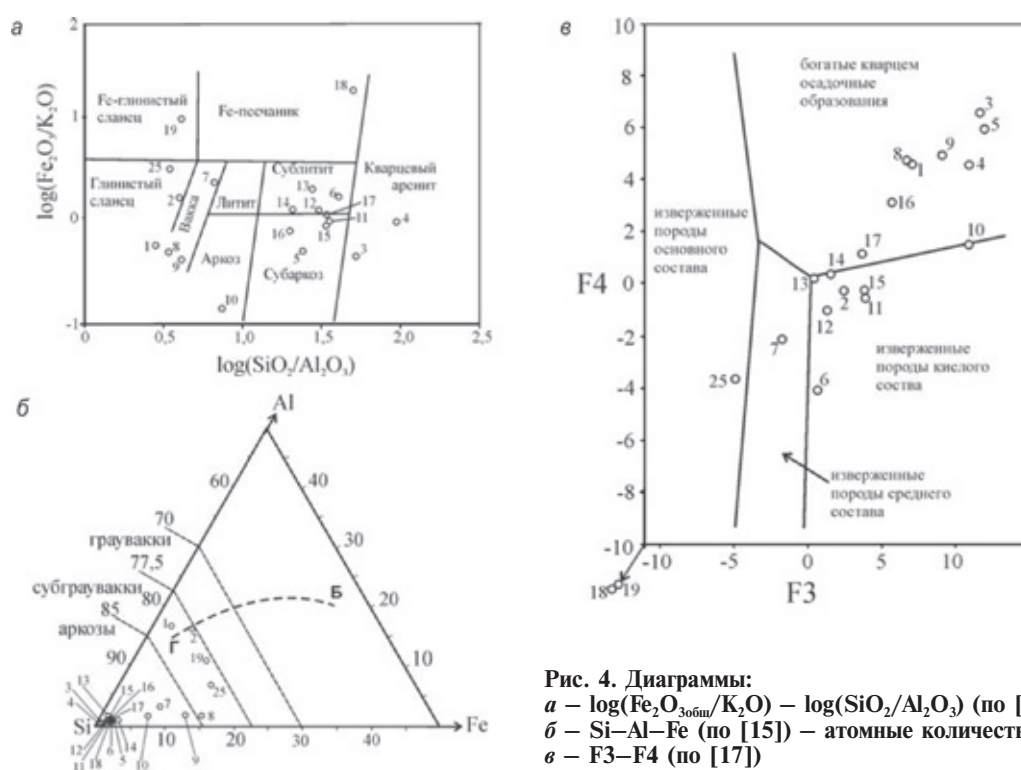


Рис. 4. Диаграммы:
 а – $\log(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{обит.}}/\text{K}_2\text{O}) - \log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (по [12]);
 б – Si–Al–Fe (по [15]) – атомные количества;
 в – F3–F4 (по [17])

Для отражения зависимости содержания и соотношения петрогенных оксидов от палеогеодинамической обстановки использованы диаграммы, при построении которых учитывается максимальное количество оксидов [8, 13]. На диаграмме F1–F2 (рис. 5, а) кварцитопесчаники попали в поле пассивной континентальной окраины, алевролит и сланцево-алевролитовые породы – в поле активной континентальной окраины. Такая картина

распределения точек обусловлена тем, что в составе пород, фигуративные точки которых попали в поле активной континентальной окраины, присутствуют значительные количества K₂O (табл. 1), входящего в состав слюды и полевых шпатов. По данным Я. Э. Юдовича и соавторов, такие тонкозернистые породы характерны для аридных кор выветривания и широко развиты в отложениях рифея [6]. На диаграмме SiO₂/Al₂O₃ – K₂O/Na₂O

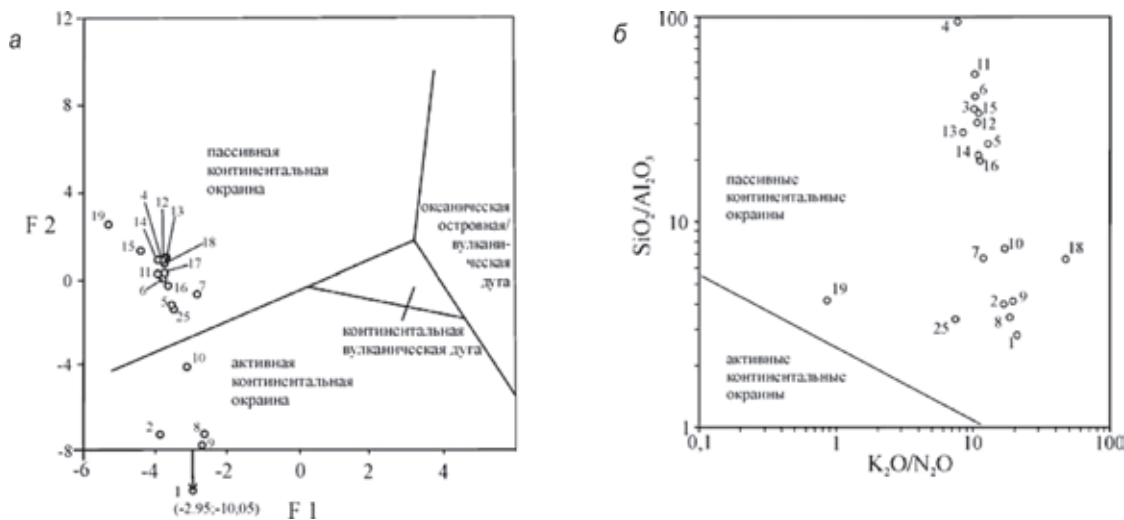


Рис. 5. Диаграммы составов пород из различных геодинамических обстановок: а – F1–F2 [8]; б – $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ [13]

(рис. 5, б) фигуративные точки разделены на две группы, в одну из них входят сланцы, алевролиты, сланцево-алевролитовые породы и брекчии, во вторую – кварцитопесчаники, при этом все точки располагаются в области пассивной континентальной окраины,

Фазовый состав пород определен при помощи рентгендифрактометрического анализа неориентированных образцов (дифрактометр Shimadzu XRD-6000, излучение $\text{CuK}\alpha$, 30 kV/30 mA). В составе пород присутствуют диоктаэдрическая слюда (мусковит) и незначительное количество железистого хлорита. Асимметричная форма базальных рефлексов слюды позволяет предположить присутствие нескольких слюдистых фаз различного состава. Мусковит преобладает, характеризуется высокой степенью кристалличности с рефлексом 060 с $d/n = 1,500 \text{ \AA}$. Второй слюдистой фазой, вероятнее всего, является триоктаэдрическая слюда состава, близкого к биотитовому с $d/n_{060} = 1,530 \text{ \AA}$.

СИА (см. примеч. к табл. 2) – индекс химического выветривания, показатель климата в области размыта [16] – изменяется от 47 до 73 (табл. 2). Характерные для большинства изученных образцов значения СИА в интервале 62–75 свидетельствуют о дезинтеграции исходных пород в условиях холодного климата. Минимальное значение индекса СИА имеет кварцитопесчаник (обр. 4) из основания разреза. Эта же порода характеризуется и минимальным (67) значением индекса выветривания СИВ (см. примеч. к табл. 2), отражающего степень выветрелости обломочного материала [11]. Для остальных кварцитопесчаников он находится в интервале 84–91, а в тонкозернистых породах имеет максимальные значения 94–96, что может указывать на существование в области размыта коры выветривания (табл. 2). Индекс изменения состава ICV [Cox, 1995] 0,74–1,77 (табл. 2). Минимальные значения этого индекса, соответствующие относительно химически зрелым породам, характерны для кварцитопесчаников (обр. 11 и 12) и тонкозернистых отложений из средней части разреза. Для большей части кварцитопесчаников значения этого индекса превышают 1, что характерно для пород с высоким содержанием неизмененных силикатных минералов.

Минимальные значения соотношения Fe/Mn – фациального индикатора для осадочных отложений [4], как и сформированных в относительно глубоководных условиях, соответствуют кварцитопесчаникам из средней части разреза (табл. 2). Два образца кварцитопесчаников (образцы 10, 11) относятся к мелководным, а все остальные породы к прибрежно-морским фациям. Свидетельством периодического (возможно, сезонного) отсутствия воды являются наблюдаемые, особенно в нижней части разреза, трещины усыхания и отпечатки капель дождя.

Титановый $(\text{Fe} + \text{Mn})/\text{Ti}$ [5] и алюминиевый $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe} + \text{Mn})$ [9] модули характеризуют породы как не содержащие примеси эксгалитивного материала. Исключение составляет брекчия обр. 19, где отмечается максимальное для изученных пород количество Fe_2O_3 (табл. 1). Превышающее пороговое значение титанового модуля (страхов) в песчанике обр. 6 связано с аномально низким содержанием TiO_2 (табл. 1). По всей видимости, это частный случай, не характерный для всего слоя песчаников. Присутствие эксгалитивного материала не подтверждается значением алюминиевого модуля (0,47) и нормальными значениями модулей ТМ и ЖМ.

Значения калиевого модуля $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ [10] лишь для двух образцов песчаников и двух образцов брекчий не превышают 0,3 и соответствуют породам, сформированным за счет многократно переотложенного материала. Большая часть выборки песчаников и все образцы тонкообломочных пород характеризуются значениями, превышающими 0,3, что указывает на слабое химическое выветривание пород в области сноса.

Обсуждение результатов. Анализ петрохимических коэффициентов, используемых в качестве индикаторов при палеогеографических реконструкциях, показал существование не вполне согласующихся между собой на первый взгляд данных. Это касается, в частности, интерпретации индикаторных соотношений, используемых для выяснения климата и степени химической зрелости осадка в области сноса для аргиллитов и алевролитов из основания разреза (образцы 1 и 2). Значения

индекса CIW предполагают достаточно высокую степень разложения исходных пород на континенте, индексы ICV, НКМ и калиевого модуля K_2O/Al_2O_3 , соответствуют слабыветрелым породам. Это противоречие объясняется характером распределения в породах калия (табл. 1), максимальные содержания которого приурочены к глинистым породам. Некоторая часть калия может присутствовать в них в виде «дисперсных частиц полевых шпатов» [7]. В то же время такие породы наследуют и, в силу особенностей гидродинамики среды, в которой они формируются, концентрируют обломочные слюды из размываемых, в том числе из слабыветрелых магматических пород фундамента.

Заключение. В строении разреза средней подсвиты джежимской свиты верхнего рифея принимают участие породы, образовавшиеся в мелководных и прибрежных условиях холодного, хорошо аэрируемого спокойноводного бассейна в стабильных геотектонических условиях пассивной континентальной окраины и в отсутствие вулканической деятельности. В периоды полного высыхания бассейна, когда обломочный материал вообще не поступал, а на поверхности появлялась полигональная система трещин усыхания, сменялись, возможно, сезонным привнесом и заполнением трещин слабосортированным песчаным материалом. Уменьшение мощности и количество глинистых прослоев вверх по разрезу, синхронное увеличение (до мелкого гравия в обр. 18) размера обломочного материала, в составе которого отмечаются слабоизмененные обломки плагиоклазов и кварц-полевошпатовых пород, показывают усиление гидродинамической активности среды и увеличение скорости разрушения источников питания.

В формировании отложений принимали участие осадочные образования древнего континента и слабоизмененные выветриванием граниты. С первыми связаны хорошо окатанные зерна кварца и микрокварцита, вторые стали источником кварц-полевошпатовых зерен, обломков калиевого полевого шпата и биотита и, судя по сохранившимся обломкам этого минерала, располагались на незначительном удалении от места накопления осадка. Распределение точек на диаграммах соответствует изменению в составе обломочной части отложений доли рециклированных пород фундамента. Влияние гранитов иллюстрируется значениями литохимических модулей и индикаторных соотношений — петрогенные породы, содержащие значительную гранитную составляющую, отличаются повышенным значением индекса ICV и фемического модуля и пониженным титанового модуля. Вещественный состав отложений окончательно сформировался под влиянием постдиагенетических процессов, в том числе связанных с воздействием гидротермальных растворов при образовании кварцевых жил.

Существующая на настоящий момент совокупность опубликованных данных и полученного автором фактического материала не позволяет однозначно оценить геологическую позицию тектонических брекчий. Если считать, что они сейчас располагаются на том же месте, где и образовались, а состав и структурно-текстурные особенности пород, слагающих обломки, аналогичны описанным в разрезе глинисто-алевритовым породам, то можно предположить, что они относятся к следующему

седиментационному циклу. Однако наиболее вероятно, что до того, как они подверглись разрушению, горизонтально залегающие верхнерифейские слои были смяты в складки, а затем тектоническому воздействию подверглись породы в одном из крыльев складки. При таком варианте развития событий брекчий образовались значительно позже, чем окружающие их нормальные осадочные породы, а минерализация, приведшая к образованию K-Fe-Mg слюды и гематита, связана с проникновением в образовавшиеся полости растворов, сформировавших также многочисленные кварцевые жилы в толще кварцитопесчаников.

1. *Жарков В.А., Швецова И.В.* Крупнокристаллический монацит из кайнозойских отложений в районе ручья Вадьявож (Немская возвышенность, Южный Тиман) // Сыктывкарский минералогический сборник. № 28. — Сыктывкар, 1999. — С. 172–178. (Труды Института геологии Коми НЦ УрО РАН; Вып. 101).
2. *Макеев А.Б.* Новые перспективы алмазоносности Тимана / А.Б. Макеев, А.Я. Рыбальченко, В.А. Дудар, В.Г. Шеметько // Геология и минерально-сырьевые ресурсы европейского северо-востока России: новые результаты и новые перспективы: Материалы XIII геол. съезда Республики Коми. Т. IV. — Сыктывкар, 1999. — С. 63–66.
3. *Макеев А.Б., Макеев Б.А.* Новые данные об алмазах и минералах-спутниках Тимана. — Сыктывкар, 2000. — 32 с. (Научные доклады / Коми научный центр УрО РАН; Вып. 424).
4. *Розен О.М., Журавлев Д.З., Ляпунов С.М.* Геохимические исследования осадочных отложений Тимано-Печорской провинции // Разведка и охрана недр. 1994. № 1. — С. 18–21.
5. *Страхов Н.М.* Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. — М.: Наука, 1976. — 300 с.
6. *Юдович Я.Э., Гареев Э.З., Кемпус М.П.* Природа аномальных накоплений калия в глинистых породах // Геохимия. 1991. № 5. — С. 689–700.
7. *Юдович Я.Э., Кемпус М.П.* Основы литохимии. — СПб.: Наука, 2000. — 479 с.
8. *Bhatia M.R.* Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // J. of Geology. 1983. Vol. 91. No 6. — P. 611–627.
9. *Bostrom K.* The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // Stockholm Contrib. Geol. 1973. Vol. 27. No 2. — P. 148–243.
10. *Cox R., Lowe D.R.* Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review // J. Sed. Res. 1995. Vol. A65. — P. 1–12.
11. *Harnois L.* The CIW index: a new chemical index of weathering // Sediment. Geology. 1988. Vol. 55. No 3/4. — P. 319–322.
12. *Herron M.M.* Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrol. 1988. Vol. 58. — P. 820–829.
13. *Maynard J.B., Valloni R., Yu H.-Sh.* Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Geol. Soc. Spec. Pubs. L. 1982. Vol. 10. — P. 551–561.
14. *Middleton G.V.* Chemical composition of sandstones // Geol. Soc. America Bull. 1960. Vol. 71. — P. 1011–1026.
15. *Moor B.R., Dennen W.H.* A geochemical trend in silicon-aluminum-iron ratios and the classification of clastic sediments // J. Sed. Petrol. 1970. Vol. 40. No 4. — P. 1147–1152.
16. *Nesbitt H.W., Young G.M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of litite // Nature. 1982. Vol. 299. — P. 715–717.
17. *Roser B.P., Korsch R.J.* Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and K_2O/Na_2O ratio // J. of Geology. 1986. Vol. 94. No 5. — P. 635–650.

1. Jarkov W.A., Shvetsova I.V. Macrocrystalline monazite from Cenozoic sediments in the area of the stream Vadiavog (Nem upland, South Timan). *The Syktyvkar mineralogical collection*. Syktyvkar. 1999. Pp. 172–178 (Proceedings of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Iss. 101). (In Russian).
2. Makeev A.B., Makeev B.A., Dudap V.A., Shemetko V.G. New perspectives of diamond potential of Timan. *Geology and mineral resources of European northeast of Russia: new results and new perspectives. Proceedings of XIII Geological Congress of the Komi Republic. Vol. IV*. Syktyvkar. 1999. Pp. 63–66. (In Russian).
3. Makeev A.B., Makeev B.A. Novye dannye ob almazach i mineralach-sputnikach Timana [New data about diamonds and minerals-satellites Timan]. Syktyvkar. 2000. 32 p. (Scientific reports: Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Komi; Iss. 424).
4. Rozen O.M., Guravlev D.Z., Lyapunov S.M. Geochemical studies of sedimentary deposits in the Timan-Pechora province. *Razvedka i ohrana nedr*. 1994. No 1, pp. 18–21. (In Russian).
5. Strachov N.M. Problemy geochimii sovremennogo okeanskogo litogeneza [Problems of geochemistry of modern oceanic lithogenesis]. Moscow: Nauka. 1976. 300 p.
6. Yudovich Ya.E., Gareev E.Z., Kertis M.P. The nature of the anomalous accumulation of potassium in clay rocks. *Geochimiya*. 1991. No 5, pp. 689–700. (In Russian).
7. Yudovich Y.E., Kertis M.P. Osnovy litoхимии [Basics litochemistry]. St. Petersburg: Nauka. 2000. 479 p.
8. Bhatia, M.R. 1983: Plate tectonic and geochemical composition of sandstones. *J. of Geology*, vol. 91. 6. 611–627.
9. Bostrom, K. 1973: The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments. *Stockholm Contrib. Geol.*, vol. 27. 2. 148–243.
10. Cox, R., Lowe, D.R. 1995: Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review. *J. Sed. Res.*, vol. A65. 1–12.
11. Harnois, L. 1988: The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sediment. Geol.*, vol. 55. 3/4. 319–322.
12. Herron, M.M. 1988: Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log date. *J. Sed. Petrol.*, vol. 58. 820–829.
13. Maynard, J.B., Valloni, R., Yu, H.-Sh. 1982: Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins. *Geol. Soc. Spec. Publs. L.*, vol. 10. 551–561.
14. Middleton, G.V. 1960: Chemical composition of sandstones. *Geol. Soc. America Bull.*, vol. 71. 1011–1026.
15. Moor, B.R., Dennen, W.H. 1970: A geochemical trend in silicon-aluminum-iron rations and the classification of clastic sediments. *J. Sed. Petrol.*, vol. 40. 4. 1147–1152.
16. Nesbitt, H.W., Young, G.M. 1982: Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of litite. *Nature*, vol. 299. 715–717.
17. Roser, B.P., Korsch, R.J. 1986: Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *J. of Geology*, vol. 94. 5. 635–650.

Николова Наталья Юрьевна – доктор геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, Институт геологии Коми НЦ УрО РАН. Ул. Первомайская, д. 54, Сыктывкар, 167982, Россия. <nikulova@geo.komisc.ru>

Nikulova Natalia Yur'yevna – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher. Institute of Geology of the Komi Science Center of SC UB RAS (IG Komi SC UB RAS). 54 Ul. Pervomaiskaia, Syktyvkar, 167982, Russia. <nikulova@geo.komisc.ru>