

ЛИТОГЕОХИМИЯ ТОНКОЗЕРНИСТЫХ ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД ВЕНДА НЕПСКОГО СВОДА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2016 г. Л. Н. Котова, В. Н. Подковыров, О. В. Граунов

*Институт геологии и геохронологии докембрия РАН
199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2
E-mail: l.n.kotova@ipgg.ru*

Поступила в редакцию 27.03.2015 г.

Принята к печати 19.05.2015 г.

Проведено литогеохимическое исследование вендских тонкозернистых терригенных отложений в составе талахской, паршинской (непский горизонт) и бюксской свит (тирский горизонт) по керновому материалу отдельных скважин Непского свода Непско-Ботуобинской антеклизы Сибирской платформы. Пелиты всех трех свит характеризуются вариациями состава от песчаников до глин с увеличением глинистой составляющей вверх по разрезу и имеют общую геохимическую специфику. При умеренно-щелочном составе они относятся к высококалевому классу пород, что говорит о сходных фациальных условиях формирования пелитов за счет привноса в мелководный морской бассейн вендской пассивной континентальной окраины материала платформенных кор химического выветривания в условиях гумидного климата. Источником сноса, скорее всего, служили породы кристаллического фундамента Сибирской платформы при возможном участии рифейских осадков.

Ключевые слова: *венд, пелиты, геохимический состав, рециклированные осадки, Непско-Ботуобинская антеклиза, Сибирь.*

ВВЕДЕНИЕ

Непско-Ботуобинская антеклиза (НБА) расположена на юго-восточной окраине Сибирской платформы и относится к одному из перспективных нефтегазоносных районов Сибири. Месторождения углеводородов приурочены здесь к терригенным отложениям венда, в связи с чем реконструкция состава этих отложений, а также расшифровка седиментационных, тектонических и палеоклиматических условий их формирования представляются весьма актуальной задачей.

Благодаря широкой сети разведывательных буровых скважин регион НБА достаточно хорошо изучен в литолого-стратиграфическом плане. Установлено, что выделяемые отдельные горизонты, свиты и подсвиты в разрезах венда в разных районах НБА не выдержаны по мощности и фациально изменчивы [21]. Это обусловлено как сложностью геологического строения комплекса рифей–вендских отложений осадочного чехла и подстилающего фундамента Сибирской платформы, так и тектоническими процессами в зоне перехода от платформы к структурам Патомской складчатой области. Поэтому вопросы условий формирования и корреляции разрезов позднепротерозойского комплекса осадочных пород, как и перекрывающих их кембрийских отложений, остаются предметом дискуссий [24, 27].

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЗОР И СТРАТИГРАФИЯ РАЙОНА НЕПСКОГО СВОДА

В пределах НБА платформенные отложения рифея и венда залегают в зависимости от тектонических условий на глубинах от 1000 до 2500 м [27]. В центральной части этой структуры располагается Непский свод (рис. 1а), который является наиболее приподнятой частью антеклизы. Здесь вендские отложения чаще всего залегают непосредственно на кристаллическом фундаменте, на глубинах от 1000 до 1500 м. В целом для НБА характерно уменьшение мощностей отдельных свит и подсвит венда вплоть до выклинивания в направлении с востока-юго-востока на запад [21].

В центральной части НБА пересекаются границы трех фациальных зон: Приленско-Непской (на западе), Ботуобинской (на севере) и Нюйско-Пеледуйской (на востоке). Типовые разрезы венда в пределах Непского свода по отдельным площадям описаны в [21]. К каждой из свит и/или горизонтов приурочены продуктивные нефтегазоносные пласты (рис. 2).

Наиболее полный по мощности разрез венда, с несогласием залегающий на верхнерифейских отложениях талаканской свиты, вскрыт на юго-восточной окраине НБА, в Нюйско-Пеледуйской фациальной зоне, на границе с Предпатомским прогибом (см. рис. 1). Согласно региональной страти-

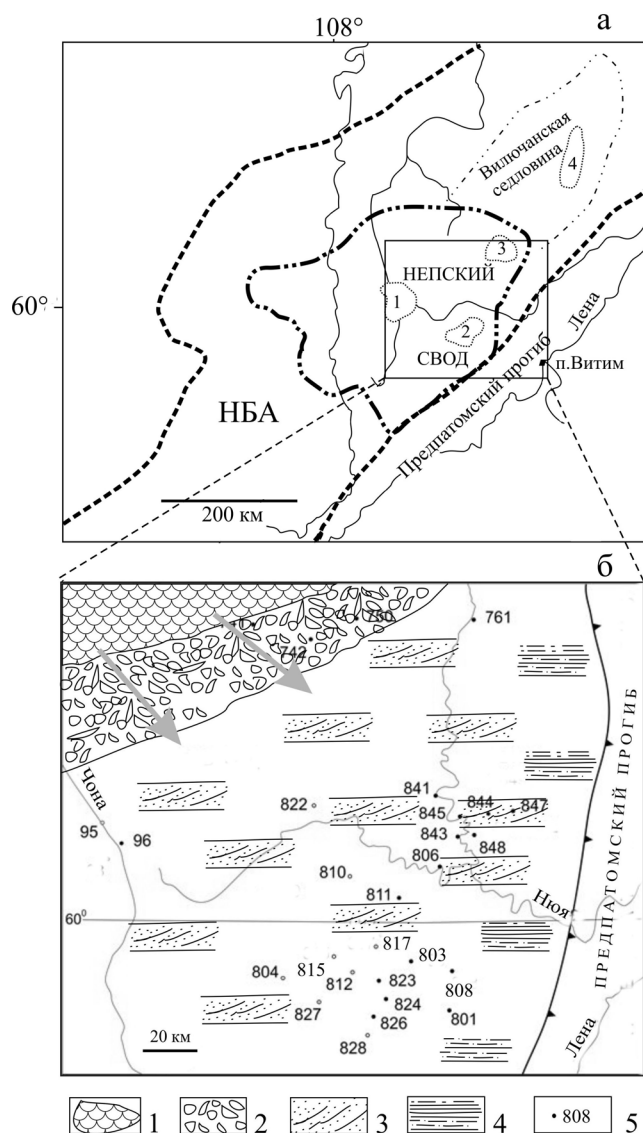


Рис. 1. Расположение Непского свода Непско-Ботуобинской антеклизы (а) и палеогеографическая схема раннеталахского времени (б) по [25], с изменениями.

а: 1–4 – нефтяные поля: 1 – Верхне-Чёньское, 2 – Талаканское, 3 – Чаяндинское, 4 – Средне-Ботуобинское.
б: 1 – территория размываемой суши; 2 – грубозернистые аллювиальные и аллювиально-дельтовые отложения; 3 – песчаные отложения пляжа, подвижного морского мелководья и конусов выноса подводной дельты; 4 – песчано-глинистые отложения подвижной литорали; 5 – номера скважин. Стрелка – направление сноса.

Fig. 1. Location of the Nepa dome in Nepa-Botuoba anticline (a) and paleogeographic scheme early-Talakh time (b), by [25] with changes.

а: 1–4 – oil fields: 1 – Upper-Chenskoye, 2 – Talakanskoye, 3 – Chayandinskoye, 4 – Sredne-Botuobinskoye.
б: 1 – eroding terrestrial area; 2 – coarse-grained alluvial and alluvial-deltaic deposits; 3 – sandy beach sediments, rolling shallow marine and alluvial fans of underwater delta; 4 – sand and clay deposits of mobile littoral; 5 – number of wells. Arrow – direction of transfer.

Стратиграфическая шкала			Непский свод НБА		
Эрагема	Система	Горизонт	Свита	Продуктивный горизонт	Лито-логия
Верхн. рифей	Венд	Даниловский	Успенская		
			Бюкская	Ботуобинский	
		Тирский	Паршинская	Хамакинский	
			Талахская	Талахский	
		Вилочанский	Хоронохская		
			Бетинчинская		
		Талаканский	Талаканская		
		Талаканский	Талаканская		

Рис. 2. Стратиграфическая схема венда Непского свода.

1 – песчаники, 2 – алевролиты и алевропесчаники, 3 – аргиллиты, 4 – известняки, 5 – доломиты.

Fig. 2. Stratigraphic scheme of the Nepa dome.

1 – sandstone, 2 – siltstones and silty sandstones, 3 – mudstones, 4 – limestones, 5 – dolostones.

графической схеме [17, 21], в составе венда здесь выделяются бетинчинская, хоронохская, талахская, паршинская, бюкская, успенская, кудулахская и юрахская свиты. Они объединяются в несколько региогоризонтов, представленных преимущественно терригенными отложениями вилочанского и непского горизонтов, терригенно-карбонатными отложениями тирского горизонта и карбонатными отложениями даниловского горизонта (см. рис. 2).

На территории Непского свода нами изучены тонкозернистые терригенные отложения талахской и паршинской свит непского горизонта нижнего венда и бюкской свиты тирского горизонта верхнего венда. На площади исследований разрез венда

Нюйско-Пеледуйской зоны юго-востока Непского свода начинается с талахской свиты или с нерасчлененного непского горизонта, залегающего, как правило, на породах кристаллического фундамента.

Талахская свита сложена сероцветными массивными и косослоистыми песчаниками с прослоями и пакетами зеленовато-серых тонко- и линзовидно-слоистых алевроаргиллитов, иногда содержащих рассеянную вкрапленность пирита. Грубая косая и косоволнистая слоистость пород, плохая сортировка и окатанность обломочных зерен песчаников талахской свиты указывают на динамически разнообразные обстановки осадконакопления от предгорных шлейфов выноса и аллювиальных фаций до проксимальных мелководно-морских, супралиторальных [25]. Минералого-петрографическое изучение песчаников талахской свиты выявило разнообразный характер источников обломочного материала. На фоне преобладания “местных” плохо сортированных и неокатанных обломков гранитоидного и метаморфического субстрата, сцементированных слюдисто-кварцевым, железистым или ангидрит-глинистым материалом, в подчиненном количестве присутствует также обломочный полуокатанный калиевый полевой шпат и окатанный кварцевый материал интракратонного происхождения с признаками эоловой транспортировки. Максимальная мощность свиты доходит до 65–85 м. К этой свите приурочен талахский продуктивный горизонт.

Паршинская свита подразделяется на две подсвиты. Нижняя сложена преимущественно глинисто-карбонатными отложениями, в которых наблюдается переслаивание доломитов и аргиллитов, иногда алевроитистых и песчаных. Максимальная ее мощность варьирует от 95 до 150 м. Верхняя подсвита внизу представлена разнотекстурными песчаниками с прослоями аргиллитов, а вверху – линзовидно-слоистыми аргиллитами с прослоями доломитов; встречаются стяжения пирита. Мощность верхней подсвиты достигает 50–60 м. К песчаной пачке верхней подсвиты приурочен хамакинский продуктивный горизонт (см. рис. 2).

Структурно-текстурные особенности алевроитоглинистых пород паршинской свиты, умеренная сортировка и окатанность обломочных минералов, присутствие линзочек и слойков песчано-алевритового состава, трещин усыхания с раннедиагенетическим карбонатным и ангидритовым цементом свидетельствуют о периодически возникавших обстановках осушения. В минеральном составе глинистых пород паршинской свиты, по данным микрозондового и рентгеновского изучения, преобладают гидрослюда, смешаннослойные фазы смектит-гидрослюда, хлорит и реликтовые смектит и каолинит. Подобный метастабильный комплекс минералов отражает быстрое накопление и захоронение глинистых осадков в проградирующих мелководных обстановках, включая плайевые озера и по-

логие приливно-отливные равнины, осложненные локальными депрессиями дна и врезами песчаных тел [6]. Палеонтологическими исследованиями установлено присутствие в глинистых породах паршинской свиты разнообразных эдиакарских комплексов микрофоссилий [4, 5].

Бюкская свита тирского горизонта верхнего венда несогласно с перерывом в основании перекрывает отложения непского горизонта. В основании свиты выделяется ботубинская подсвита, сложенная разнотекстурными полевошпат-кварцевыми песчаниками с редкими тонкими прослоями кварц-хлорит-гидрослюдистых алевропелитов, выше замещающихся глинисто-сульфатно-карбонатным комплексом пород. Цемент песчаников регенерационный кварцевый, ангидрит-доломитовый, реже порово-пленочный хлорит-гидрослюдистый или битуминозный [1, 23]. Этапу раннетирской трансгрессии вендского бассейна соответствует латеральный ряд фаций илово-песчаных отложений литорали, приливно-отливных каналов, предпляжевой и переходной зон [6], окаймляющих Непский свод с общим углублением бассейна на юго-восток, в сторону Предпатомского прогиба. Максимальная мощность бюкской свиты от разреза к разрезу варьирует от 170 до 210 м. К данной свите приурочен ботубинский продуктивный горизонт.

Даниловский горизонт разделяется на три свиты, для которых свойственны стабильность состава и строения на всей территории НБА. В составе слагающих свиты пород преобладают карбонаты (доломиты, известняки, в различной степени глинистые и ангидритизированные), в которых присутствуют прослои аргиллитов. Мощность даниловского горизонта оценивается в 300 м.

На прилегающей территории Патомской складчатой области в базальных горизонтах венда выделяются ледниковые отложения [26], коррелируемые с вендскими ледниковыми отложениями Урала с предполагаемым возрастом 650 млн лет [20]. Отложения бетинчинской и хоронохоской свит Непско-Ботубинской антиклизы также отнесены к заключительной фазе позднепротерозойского оледенения на Сибирской платформе на рубеже 630–640 млн лет [16]. К настоящему времени на территории НБА выделены и изучены богатые комплексы микробиот пертатакского типа, позволившие обосновать вендский возраст толщ и сопоставить их с известными эдиакарскими биотами мира [5, 19].

Отложения венда и на территории НБА и в других районах Сибирской платформы характеризуются значительным фациальным разнообразием состава, непостоянной мощностью пластов, толщ, свит, что свидетельствует об изменчивости условий их формирования. Традиционно считается, что в венде аллювиально-дельтовые отложения талахского-ранне-непского “времени” сменяются морскими в поздне-непское-тирское “время” [25].

Песчаники непского горизонта, согласно [21], формировались в обстановках временных водотоков и конусов выноса, а перекрывающие их аргиллитовые пачки – в мелководно-морских условиях, причем эти изменения носили циклический характер [27]. На границе венда и кембрия произошли резкие климатические изменения, при которых терригенные осадки семиаридного климата сменились тепловодными отложениями эпиконтинентального морского бассейна.

ЛИТОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕЛИТОВ НЕПСКОГО СВОДА

Настоящая работа посвящена изучению геохимического состава (по главным и малым элементам) терригенных, преимущественно мелкозерни-

стых осадков венда Непского свода, далее называемых обобщенным термином пелиты. Согласно [2, с. 75], к пелитам относятся осадочные тонкозернистые породы любого состава и происхождения. Комплексные геохимические исследования осадочных образований венда Неского свода НБА проводятся впервые на основе оригинального материала.

Химический анализ пород выполнен в ИЗК СО РАН методом РФА (аналитики Г.В. Бондарева и Е.Г. Колтунова). Содержания редких (РЭ) и редкоземельных элементов (РЗЭ) определены методом ICP-MS в лаборатории ВСЕГЕИ. Точность анализа составляла в среднем 2–7%. Достоверность полученных данных подтверждена также анализом дубликатов, отобранных случайным образом.

Для реконструкции первичного состава пород, областей их сноса и расшифровки геодинамиче-

Таблица 1. Химический состав (мас. %), петрохимические параметры и нормативный минеральный состав представительных образцов пелитов Непского свода

Table 1. Chemical composition (wt %), petrochemical parameters and normative mineral composition of representative samples of Nepa dome pelites

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ обр.	96-184	99-150	815-387	96-173	99-158	822-413	96-5	96-7	808-20
Свита	Бюкская			Паршинская			Талахская		
SiO ₂	63.37	68.00	56.70	52.59	64.32	72.40	59.08	49.29	72.38
TiO ₂	0.93	0.69	0.89	0.95	0.92	0.75	0.92	1.05	0.69
Al ₂ O ₃	14.30	10.60	17.25	19.00	14.40	12.25	16.10	21.70	12.70
Fe ₂ O ₃	1.72	3.62	7.12	3.78	4.06	3.22	4.56	5.36	2.80
FeO	4.13	2.59	0.80	3.59	1.70	2.10	1.38	1.20	1.80
MnO	0.02	0.11	0.07	0.71	0.02	0.04	0.28	0.09	0.04
MgO	2.81	1.95	3.55	2.70	1.71	2.20	2.35	2.58	2.48
CaO	0.75	2.43	0.49	0.69	0.38	0.50	0.29	0.52	0.59
Na ₂ O	0.17	0.04	0.17	0.33	0.13	0.32	0.31	0.32	0.40
K ₂ O	5.05	4.36	5.35	5.80	5.33	2.68	5.53	6.41	2.94
P ₂ O ₅	0.07	0.05	0.06	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.11
П.п.п.	6.32	4.87	7.70	9.37	6.55	3.50	8.73	11.02	3.10
Сумма	99.65	99.31	100.15	99.59	99.59	100.02	99.59	99.59	100.03
a	0.32	0.52	0.21	0.43	0.26	0.20	0.27	0.18	0.36
b	0.16	0.18	0.14	0.21	0.13	0.14	0.17	0.18	0.21
n	0.14	0.17	0.08	0.15	0.13	0.07	0.12	0.10	0.13
k	0.92	0.93	0.83	0.92	0.96	0.85	0.95	0.99	0.95
K ₂ O/Na ₂ O	29.7	109.0	31.5	17.6	41.0	8.4	17.8	20.0	6.2
ClA	69.6	72.1	72.1	70.2	68.3	73.9	66.8	53.5	71.2
Qu	37.7	47.8	27.8	21.9	39.3	53.7	31.4	15.3	51.9
Pl	1.6	0.4	1.6	3.2	1.3	3.0	3.1	3.2	3.7
Ort	9.4	11.6	4.7	5.2	11.6	1.2	10.2	3.9	2.0
Ill	38.1	25.3	50.2	56.0	38.1	26.6	44.2	66.5	27.8
Chl	0	0	0	0	0	13.2	0	0	12.8
Srp	3.8	0.0	5.4	3.1	1.9	0.0	3.4	2.6	0
Gt	6.2	6.3	7.9	7.6	5.9	0.1	6.0	5.9	0
Car	2.1	7.9	1.3	1.8	0.9	1.4	0.5	1.4	0.8
MM	1.1	0.8	1.0	1.2	1.1	0.9	1.1	1.3	0.9

Примечание. Петрохимические параметры: a, b, n, k – по А.Н. Неелову [12]. Название нормативных минералов: Qu – кварц, Pl – плагиоклаз, Ort – ортоклаз, Ill – иллит, Chl – хлорит, Srp – серпентин, Gt – гетит, Car – карбонаты, MM – второстепенные (малые) минералы (рутил, родохрозит, апатит).

Note. Petrochemical parameters: a, b, n, k – by A.N. Neelov [12]. Title regulatory minerals: Qu – quartz, Pl – plagioclase, Ort – orthoclase, Ill – illite, Chl – chlorite, Srp – serpentine, Gt – goethite, Car – carbonates, MM – minor (small), minerals (rutile, rhodochrosite, apatite).

Таблица 2. Содержание редких и редкоземельных элементов в представительных образцах пелитов Непского свода, г/т**Table 2.** Content of rare and rare-earth elements in representative samples of Nepa dome pelites, ppm

№ п.п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ обр.	96-184	99-150	815-387	96-173	99-158	822-413	96-5	96-7	808-20
Свита	Бюкская			Паршинская			Талахская		
Sc	12.0	19.0	10.5	18.2	12.4	8.6	14.3	10.6	16.2
V	151	206	89	186	124	79	115	98	157
Cr	95	125	118	113	91	133	138	101	137
Co	15.4	42.1	7.8	23.5	13.2	8.7	20.0	13.0	23.4
Ni	28.2	73.6	25.8	39.4	35.8	43	61.8	39.4	59.9
Cu	20.4	28.3	40.5	22.6	18.8	9.94	17.4	20.0	37.0
Zn	42.0	63.7	43.1	52.7	38.2	39.2	67.7	44.2	59.0
Ga	21.8	27.8	14.6	26.5	20.0	13.1	19.8	13.7	20.4
Rb	149	199	86	180	136	73.9	105	87	113
Sr	140	175	250	158	143	174	153	305	92
Y	35.3	32.7	37.4	41.9	28.6	38.1	18.2	23.8	24.2
Zr	429	195	284	250	351	349	253	236	170
Nb	18.1	21.9	12.2	19.3	18.6	15.5	10.6	11.8	11.4
Ba	502	426	201	467	420	192	398	338	225
La	43.9	54.8	84.8	56.7	46.4	25.5	20.5	28.0	23.0
Ce	91.5	102	177	114	95.5	53.1	40.3	55.8	44.2
Pr	10.7	11.4	21.3	12.7	9.9	6.1	5.0	6.5	4.8
Nd	41.0	38.8	79.4	47.5	36.0	22.2	18.0	23.8	17.2
Sm	8.09	6.23	14.60	8.92	6.41	4.63	3.66	4.76	3.16
Eu	1.61	1.26	2.68	1.74	1.22	1.16	0.77	1.03	0.67
Gd	7.61	6.32	10.30	8.96	5.92	6.38	3.15	4.55	4.00
Tb	1.12	1.01	1.41	1.32	0.96	1.09	0.49	0.72	0.62
Dy	6.27	6.11	7.29	7.03	5.22	6.26	3.27	4.11	3.64
Ho	1.36	1.34	1.43	1.52	1.10	1.27	0.68	0.88	0.89
Er	3.74	3.69	3.72	4.48	3.12	3.77	2.02	2.59	2.63
Tm	0.52	0.45	0.49	0.64	0.45	0.58	0.31	0.36	0.42
Yb	3.21	3.36	3.06	3.73	2.96	3.49	2.06	2.28	2.39
Lu	0.52	0.48	0.42	0.55	0.44	0.50	0.33	0.35	0.37
Hf	10.80	5.29	7.21	6.67	8.64	8.98	6.06	6.21	4.29
Ta	1.29	1.69	0.99	1.43	1.37	1.20	0.79	0.78	0.89
Pb	5.74	9.12	2.14	4.94	5.79	3.75	2.38	6.08	6.45
Th	17.50	17.70	9.16	16.90	14.70	9.23	9.84	8.58	6.67
U	3.91	4.13	1.85	4.50	3.15	2.15	1.69	2.11	1.50
Eu/Eu*	0.63	0.61	0.67	0.60	0.61	0.65	0.69	0.68	0.58
La/Yb	13.7	16.3	27.7	15.2	15.7	7.3	10.0	12.3	9.6
Th/Co	1.14	0.42	1.18	0.72	1.11	1.07	0.49	0.66	0.29
Th/Sc	1.46	0.93	0.87	0.93	1.19	1.08	0.69	0.81	0.41
La/Th	2.51	3.10	9.26	3.36	3.16	2.76	2.08	3.26	3.45
La/Sc	3.66	2.88	8.08	3.12	3.74	2.98	1.43	2.64	1.42
Ti/Zr	14.1	36.4	15.0	25.2	16.9	13.3	23.5	18.5	33.9
Zr/Sc	35.8	10.3	27.0	13.7	28.3	40.8	17.7	22.3	10.5
Hf/Zr	0.025	0.027	0.025	0.027	0.025	0.026	0.024	0.026	0.025

ских обстановок формирования отложений использован ряд известных классификационных [12, 13, 30] и дискриминантных диаграмм A–CN–K, F1–F2, SiO₂–K₂O/Na₂O [33–35]; проанализированы соотношения ряда РЭ и РЗЭ [22, 31, 32]. Как показала практика изучения тонкозернистых терригенных отложений докембрия Северной Евразии, использование литохимических данных позволяет достаточно обоснованно определить геодинамические обстановки формирования осадков [9, 10].

Для характеристики состава пелитов Непского свода были использованы 36 анализов по главным элементам и 17 анализов по малым элементам из ядерного материала 17 скважин; указанные данные для наиболее представительных проб приведены в табл. 1 и 2. В пелитах отмечается относительно высокие значения потерь при прокаливании (до 10%), но независимо от этого все расчеты с главными элементами проводились на сухой остаток, как это принято в мировой практике.

Для определения номенклатурной принадлежности пелитов использовано несколько классификационных диаграмм (рис. 3). На всех трех диаграммах видно, что составы пород разных свит практически перекрываются, т.е. не наблюдается направленной дифференциации вендских отложений по разрезу (снизу вверх). И только на диаграмме А.Н. Неелова (см. рис. 3а) видно, что среди пелитов бюкской свиты присутствуют собственно глины в отличие от алевропелитов нижележащих талахской и паршинской свит. На диаграмме М. Хирона (см. рис. 3б) состав исследуемых пород образует компактное поле в области “низкожелезистых” глинистых сланцев и вакк. Классификационная диаграмма Ф. Петтиджона (см. рис. 3в), которая обычно используется для изучения состава песчаных пород, приводится нами в дополнение к диаграмме А.Н. Неелова, чтобы показать одну из главных и общих особенностей состава пелитов венда Непского свода – высокую калиеистость пород, которые на данной диаграмме соответствуют грауваккам и сланцам.

На диаграмме А.Н. Неелова (см. рис. 3а), которая в большей степени может быть использована для детализации тонкозернистых осадков, исследуемые породы обнаруживают широкий спектр состава по величине глиноземистого модуля a (Al/Si , ат. кол.) = 0.17–0.60 и ложатся в поля (II–VI) полимиктовых песчаников, алевролитов, алевроаргиллитов, аргиллитов и глин. Как было сказано выше, в группу глин попадают частич-

Рис. 3. Классификационные диаграммы для пелитов Непского свода.

Здесь и далее на рис. 4–8 осадки свит: 1 – талахской, 2 – паршинской, 3 – бюкской.

а – $Al/Si-(Fe + Mn + Mg + Ca)$, ат. кол. [12]. Поля состава пород: I – кварцевые и олигомиктовые песчаники; II – аркозы, полимиктовые и граувакковые песчаники; III – алевролиты и граувакки; IV – алевро-аргиллиты; V – аргиллиты; VI – глины. Пунктиром обозначены поля составов вулканических пород: риодацитов (P), дацитов (Д) и андезитов (А). Сплошная изогнутая линия отделяет составы маложелезистых и железистых пород. Жирная пунктирная линия отвечает глинистому порогу. б – $\log(SiO_2/Al_2O_3)-\log(Fe_2O_3/K_2O)$ [13]. в – $\log(SiO_2/Al_2O_3)-\log(Na_2O/K_2O)$ [30].

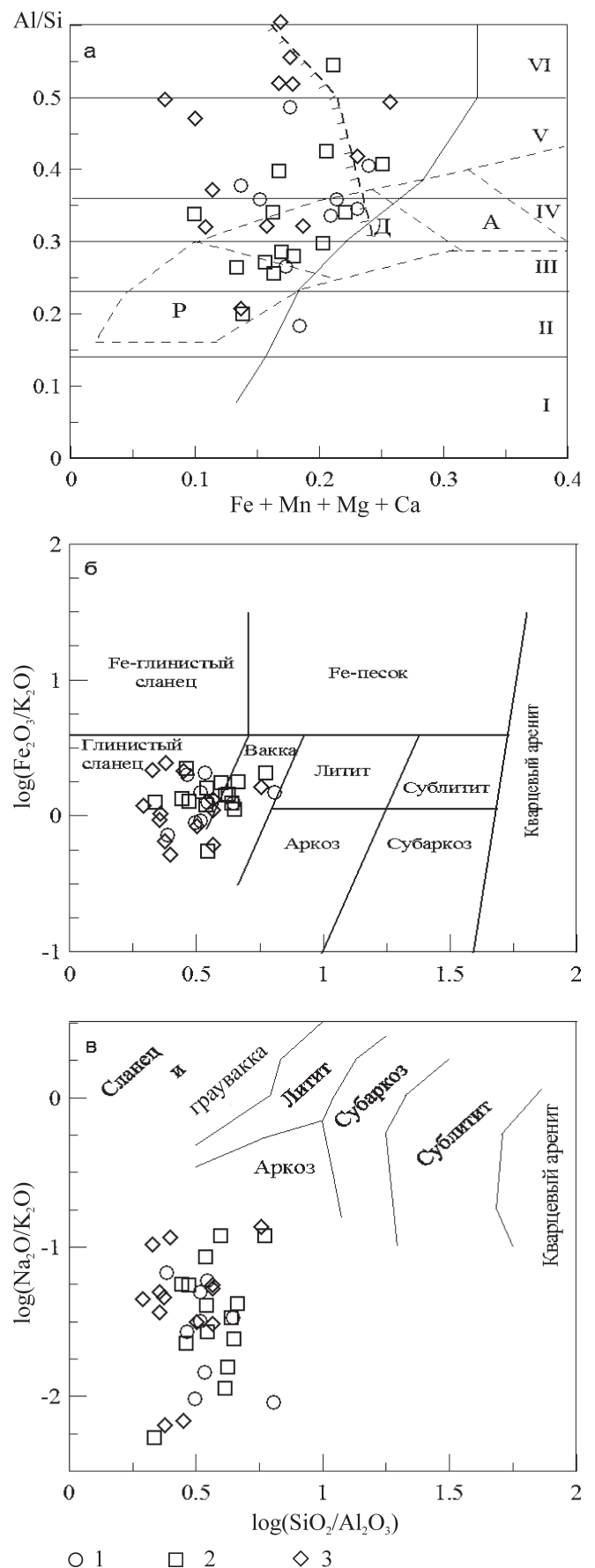
Fig. 3. Classification diagram for pelites of the Nepa dome.

Here’after on figers 4–8 deposits of suites: 1 – Talakh, 2 – Parshinsk, 3 – Byuk.

а – $Al/Si-(Fe + Mn + Mg + Ca)$, at. quantity [12]. Fields of rocks: I – quartz and oligomictic sandstones; II – arkose, polymictic and graywacke sandstones; III – siltstone and greywacke; IV – silty mudstones; V – mudstones; VI – clay. The dotted line marked fields of compositions of volcanic rocks: rhyodacites (P), dacite (Д) and andesites (A). The solid curved line separates low-ferrigenous and ferruginous rocks. Thick broken line corresponds to the clay border.

б – $\log(SiO_2/Al_2O_3)-\log(Fe_2O_3/K_2O)$ [13].

в – $\log(SiO_2/Al_2O_3)-\log(Na_2O/K_2O)$ [30].



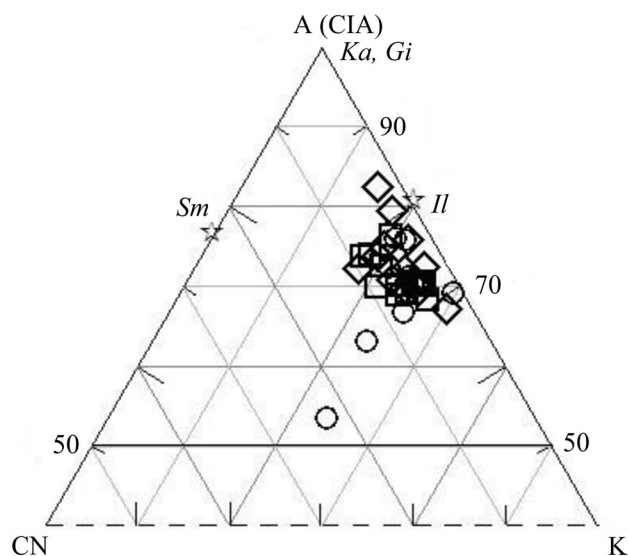


Рис. 4. Диаграмма A–CN–K = $[(Al_2O_3 - (CaO^* + Na_2O) - K_2O, \text{ мол. кол.})]$ [33] для пелитов Непского свода.

Звездочками обозначены минералы: *Il* – иллит, *Sm* – смектит, *Ka* – каолинит, *Gi* – гибсид.

Fig. 4. Diagram A–CN–K = $[(Al_2O_3 - (CaO^* + Na_2O) - K_2O, \text{ mol. quantity})]$ [33] for Nepa dome pelites.

Marked with asterisks minerals: *Il* – illite, *Sm* – smectite, *Ka* – kaolinite, *Gi* – gibbsite.

но породы только буюкской свиты. Все эти осадочные образования преимущественно относятся к умеренножелезистым составам; по параметру n ($Na + K, \text{ ат. кол.}$) = 0.07–0.19 являются умереннощелочными, а по параметру k [$K/(Na + K), \text{ ат. кол.}$] = 0.85–0.99 принадлежат к высококалиевому и суперкалиевому семействам (см. также рис. 7).

Высококалиевые составы как песчаников, так и глинистых пород характерны для базальных отложений платформенных этапов развития отдельных геологических эпох [9]. Осадочные отложения с подобной геохимической специализацией изучены нами ранее в составе учурской серии нижнего рифея Учуро-Майского региона Сибири [8, 15]. На диаграмме A–CN–K (рис. 4) точки состава пелитов всех трех свит тяготеют к оси Al_2O_3 – K_2O или к составу иллита в связи с низким содержанием в них CaO и Na_2O (см. табл. 1), за исключением двух проб талахской свиты, обогащенных карбонатной составляющей. Величина индекса химического изменения (CIA) в исследуемых пелитах венда в основном варьирует в пределах 70–80, а точки состава располагаются в области состава иллита (см. рис. 4). Интересно отметить, что величина CIA в аргиллитах учурской серии Учуро-Майского региона составляет в среднем 60–70. На тройной диаграмме В.К. Головенка [3] Al_2O_3 – K_2O – MgO все составы исследуемых пелитов венда, а также аргил-

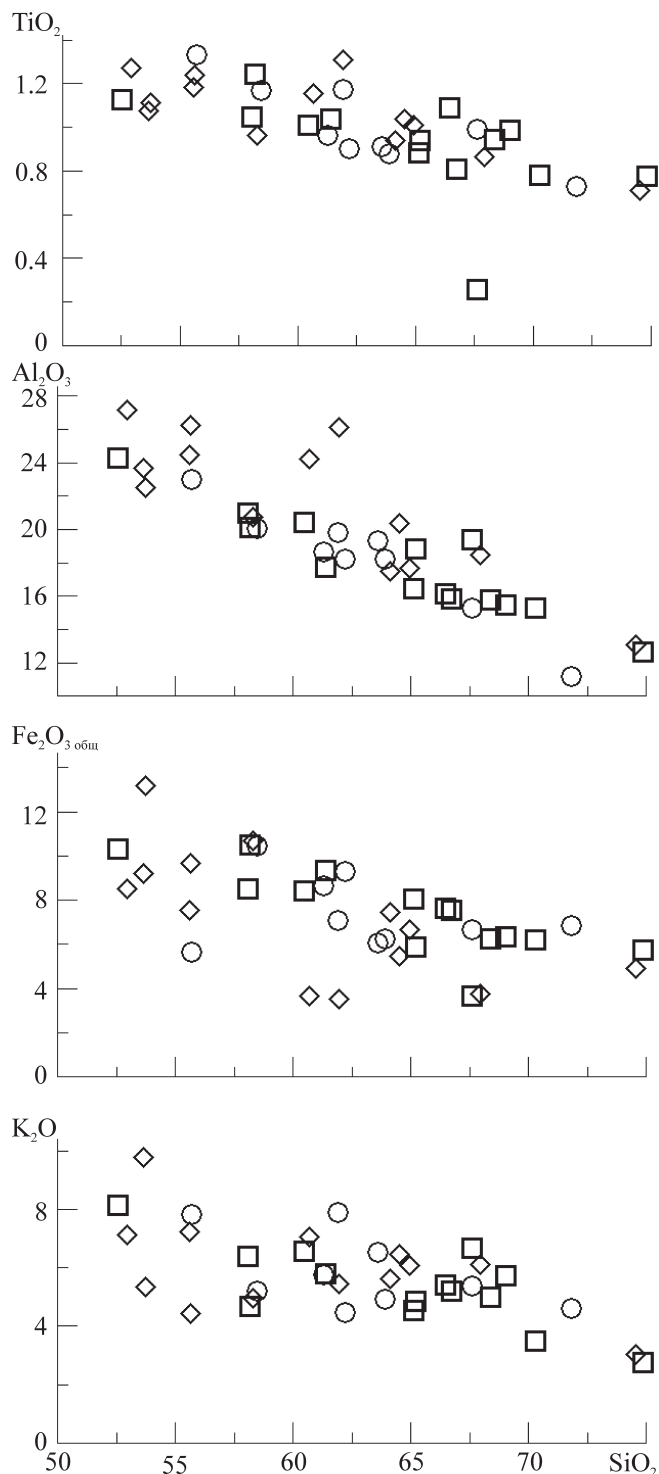


Рис. 5. Вариационные диаграммы для пелитов Непского свода.

Fig. 5. Variation diagrams for Nepa dome pelites.

литов учурской серии рифея располагаются в поле гидрослюдистых (иллитовых) глин [15].

Вариации содержаний петрогенных компонентов в пелитах Непского свода приведены на рис. 5.

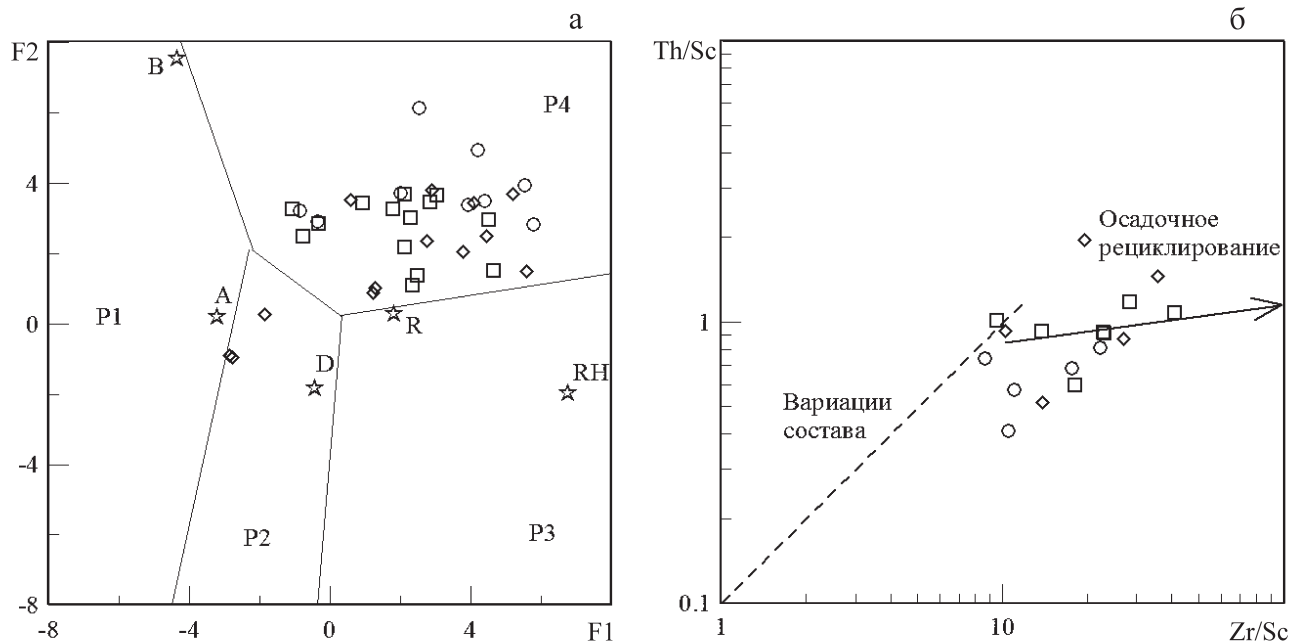


Рис. 6. Дискриминантные диаграммы, показывающие зрелость пелитов Непского свода.

а – F1–F2 [35]. Поля P1, P2 и P3 отвечают составу кластики, приближающейся к исходным породам основного, среднего и кислого состава соответственно. Поле P4 отвечает зрелому рециклированному осадочному материалу. Звездочки означают средние составы: базальта (B), андезита (A), дацита (D), риодацита (R) и риолита (RH). б – Zr/Sc–Th/Sc [31].

Fig. 6. Discrimination diagrams showing “maturity” of Nepa dome pelites.

а – F1–F2 [35]. Fields P1, P2 and P3 correspond to the clastics approaching the source rocks of basic, intermediate and felsic composition respectively. Field P4 matches mature recycled sedimentary material. Asterisks denote the average compositions: of basalt (B), andesite (A), dacite (D), rhyodacites (R) and rhyolite (RH). б – Zr/Sc–Th/Sc [31].

Отмечается, что содержание TiO_2 (0.7–1.3%) и K_2O (2–8%) в пелитах коррелирует с содержанием SiO_2 (52–75%) и Al_2O_3 (12–28%), но не зависит от мафичности ($\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{общ}} + \text{MgO}$) породы, которая в целом варьирует от 5 до 16%. Содержание MgO (1–5%) в пелитах, как правило, меньше в два раза по сравнению с содержанием $\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{общ}}$ (3–14%), а содержание CaO и Na_2O не превышает 1% (см. табл. 1). Величина титанового модуля ($\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) в пелитах в среднем составляет 0.057 (0.046–0.068), что, в частности, хотя и не обязательно, свидетельствует об основном составе источника сноса по [3]. Относительно высокая величина титанового модуля объясняется фаціальными условиями их формирования, динамическими и климатическим. Известно [11, 28], что в процессе рециклирования осадков и во влажных климатических условиях, по сравнению с аридными, происходит увеличение титанового модуля. Величина $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ в исследуемых пелитах составляет 20 ± 5 , что указывает на гумидные условия формирования отложений венда Непского свода [7].

Природа протолита пелитов не может быть установлена в результате значительной зрелости этих осадков, которые несут явные следы рециклирования, возможно неоднократного. Рециклированный характер пелитов фиксируется и по главным и по

малым элементам химического состава (рис. 6). На диаграмме F1–F2 (см. рис. 6а) почти все точки состава пелитов расположены в поле рециклированных осадков и тяготеют к границе пород кислого и среднего состава. Здесь используется “вторая” диаграмма Б.П. Розера и Р.Ж. Корша, для которой дискриминантные функции F1 и F2 вычислялись по отношению отдельных окислов к Al_2O_3 , чтобы убрать влияние биогенной компоненты, которая включает SiO_2 и CaO . На диаграмме Zr/Sc–Th/Sc (см. рис. 6б) видно, что все точки состава пелитов за счет накопления циркония располагаются вдоль линии осадочного рециклирования по сравнению с вариациями состава протолита.

По методике О.М. Розена и Ю.А. Нистратова [18] был вычислен нормативный минеральный состав исследуемых пород (см. табл. 1). В составе пелитов преобладают (около 2/3) в переменном соотношении кварц и иллит, а также ортоклаз (до 12%), присутствуют гетит и серпентин, хлорит отмечается в отдельных пробах. На тектонической диаграмме по соотношению $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (рис. 7) состав пелитов Непского свода отвечает условиям пассивной континентальной окраины.

С.Р. Тейлор и С.М. Мак-Леннан [22] показали, что ряд микроэлементов, благодаря своим химическим

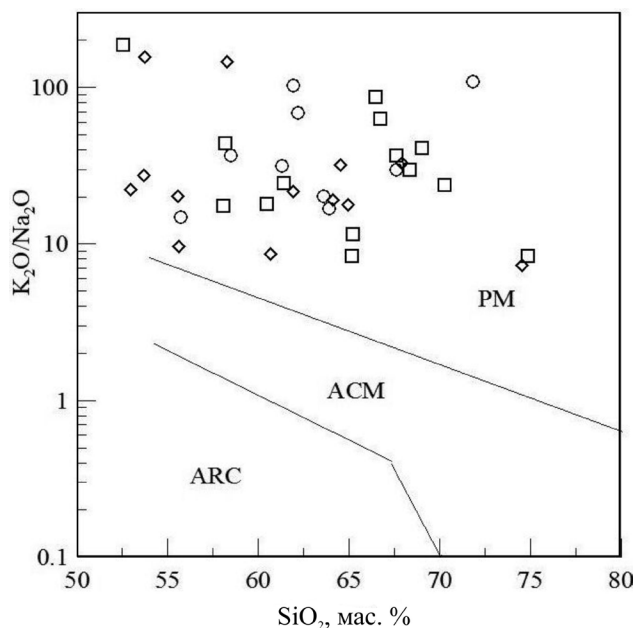


Рис. 7. Дискриминантная диаграмма $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ [34] для пелитов Непского свода.

Поля отвечают обстановкам: PM – пассивных континентальных окраин, ACM – активных континентальных окраин, ARC – океанических островных дуг.

Fig. 7. $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ diagram [34] for Nepa dome pelites.

Fields: PM – passive continental margins, ACM – active continental margins, ARC – oceanic island arcs.

свойствам, переходят из исходных материнских пород в осадочные практически без изменения их концентраций (рис. 8). Из соотношения La/Th--Hf (см. рис. 8а) следует, что пелиты Непского свода имели, скорее всего, кислый (гранитоидный) источник сноса, а по соотношению La--Th--Sc (см. рис. 8б) состав пелитов отвечает среднему составу верхней континентальной коры или близок PAAS.

На рис. 9 приведено распределение РЗЭ, нормированных по углестому хондриту [36], для пелитов разных свит Непского свода в сравнении с PAAS. Все составы пелитов имеют четко выраженную отрицательную европиевую аномалию с вариациями 0.53–0.77 (в среднем $\text{Eu/Eu}^* = 0.65$) и в целом по распределению РЗЭ сходны с PAAS. Это означает, что состав пелитов заметно дифференцирован в области легких РЗЭ и мало дифференцирован в области тяжелых РЗЭ. Обращает на себя внимание то, что содержание РЗЭ в пелитах верхней буюкской свиты несколько выше, чем в PAAS (см. рис. 9а), а в пелитах талахской свиты ниже, чем в PAAS (см. рис. 9в). Содержание РЗЭ в пелитах средней паршинской свиты с некоторыми вариациями в большей степени отвечает составу PAAS (см. рис. 9б). Это может объясняться некоторой дифференциацией состава пелитов в разрезе от более кварц-песчанистых разностей в нижней части (талахская свита) к более глинистым разностям в верхней части (буюкская свита). В какой-то степени это отмечалось и по соотношению некоторых главных элементов состава на классификационной диаграм-

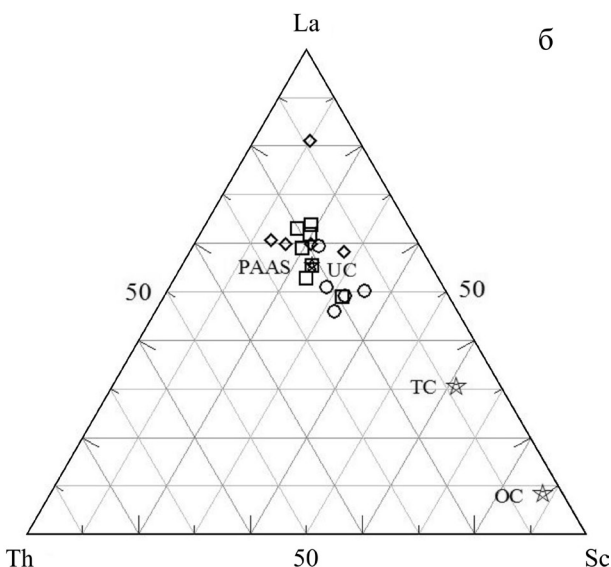
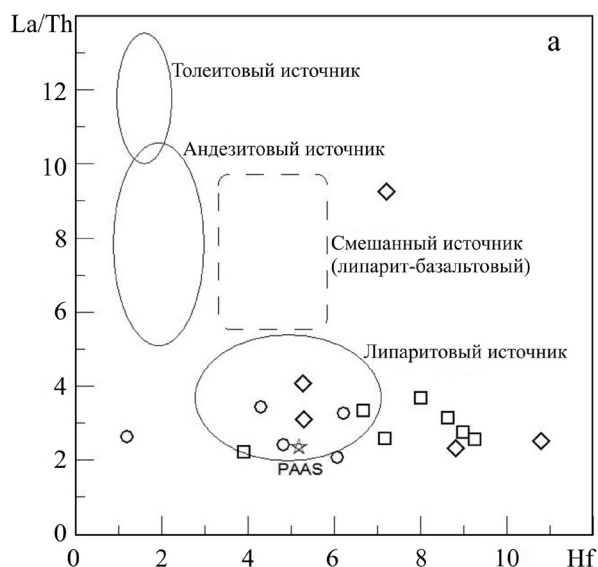


Рис. 8. Дискриминантные диаграммы для определения состава источников сноса для пелитов Непского свода.

а – Hf--La/Th [29, 32]; б – La--Th--Sc [22]. Звездочками обозначены средние составы: PAAS – постархейского австралийского сланца, UC – верхней континентальной коры, TC – континентальной коры в целом, OC – океанической коры.

Fig. 8. Discriminatory chart to determine the provenance composition for Nepa dome pelites.

а – Hf--La/Th [29, 32]; б – La--Th--Sc [22]. The average compositions are marked by asterisks: PAAS – post-Archean Australian shale, UC – upper continental crust, TC – continental crust as a whole, OC – oceanic crust.

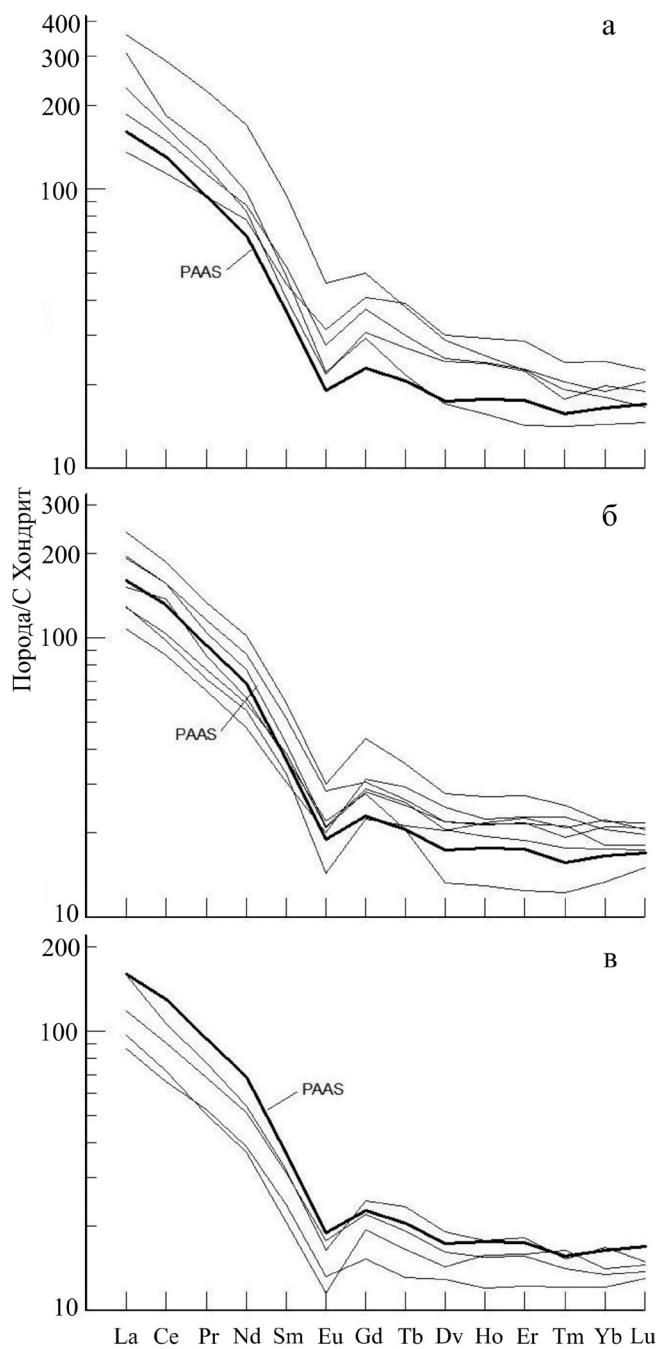


Рис. 9. Спайдер-диаграммы по РЗЭ для пелитов Непского свода.

а – бюкская, б – паршинская, в – талахская свиты.

Fig. 9. Spider-chart on REE for Nepa dome pelites.

а – Byuk, б – Parshinsk, в – Talakh suites.

ме (см. рис. 3а), на диаграмме А–СН–К (см. рис. 4) и по минеральному составу.

На рис. 10 приведены спайдер-диаграммы содержания РЭ в пелитах разных свит, нормированных по ПААС. К закономерным вариациям по всем трем свитам можно отнести уменьшение содержа-

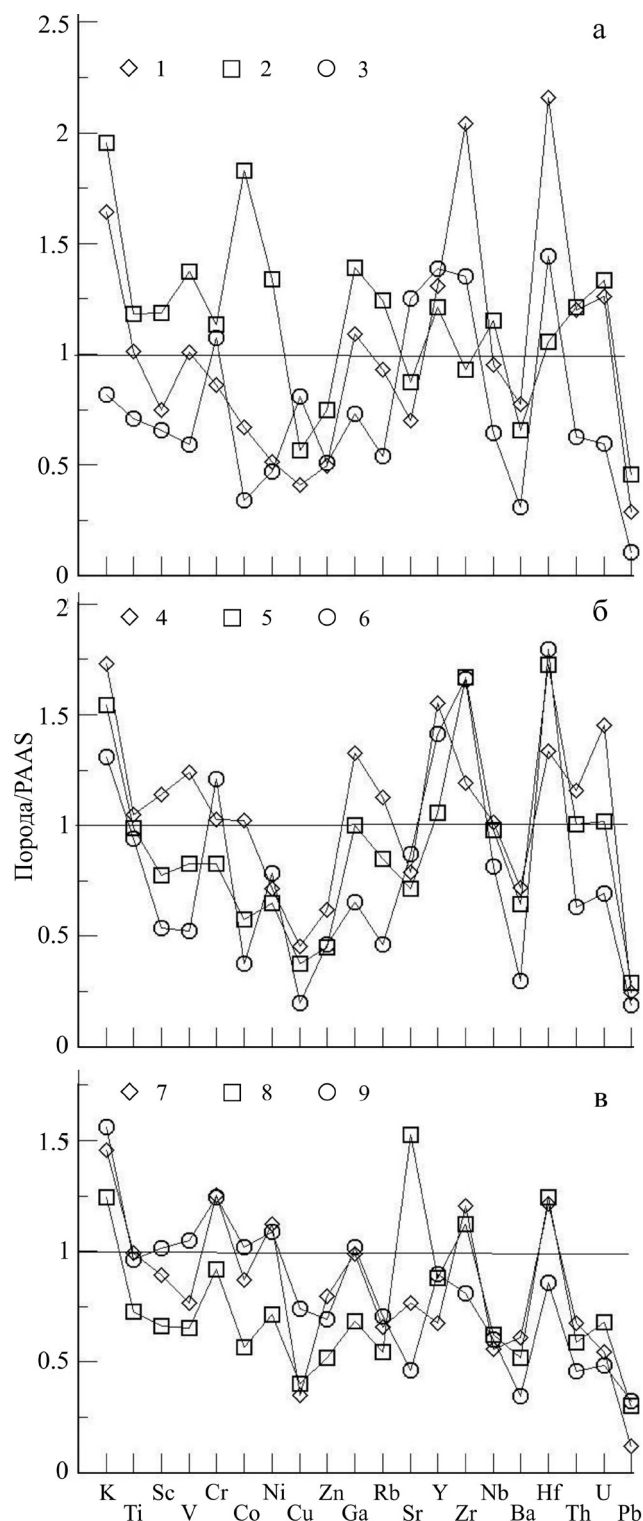


Рис. 10. Спайдер-диаграммы по РЕ для пелитов Непского свода.

а – бюкская, б – паршинская, в – талахская свиты. Цифры отвечают номерам анализов в табл. 1 и 2.

Fig. 10. Spider-chart on the RE for Nepa dome pelites.

а – Byuk, б – Parshinsk, в – Talakh suites. The numbers correspond to the numbers of analyzes in Table 1 and 2.

ний Cu, Ba, Pb (на половину и более), по сравнению с PAAS, и увеличение содержаний K, Zr, Hf (в разных пропорциях), что связано с процессами рециклирования осадочного материала. При сравнении содержаний РЭ в породах разных свит можно отметить, что содержания большинства РЭ в пелитах талахской свиты ниже содержаний их в PAAS (см. рис. 10в). Наблюдаются также большие вариации содержаний РЭ, которые носят незакономерный характер, в пелитах буюской (см. рис. 10а) и паршинской (см. рис. 10б) свит по сравнению с талахской. Все это объясняется более песчаным составом пород талахской свиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение геохимического состава тонкозернистых терригенных осадков венда в составе трех свит (талахской, паршинской и буюской) Непского свода показало, что при значительных вариациях их состава от песчаников до глин в целом отмечается, с одной стороны, их некоторая дифференцированность с увеличением глиноземистой (глинистой) составляющей вверх по разрезу, а с другой стороны, геохимическое сходство тонкозернистых осадков.

Независимо от вариаций состава или классификационной принадлежности терригенные отложения венда относятся к высококалийным породам. Величина K_2O/Na_2O значительно варьирует (от 8 до 120) из-за низких и изменчивых содержаний Na_2O . В расчетном минеральном (нормативном) составе пород, за исключением песчаных разностей, преобладает иллит наряду с кварцем и присутствует ортоклаз (до 10% и более) при незначительном количестве плагиоклаза.

Такая геохимическая (калиевая) специфика свойственна не только вендским терригенным отложениям Непского свода НБА Сибирской платформы, но и верхневендским котлинским отложениям Русской платформы, которые фиксируют начальный этап формирования венд-кембрийского осадочного чехла платформ [14]. Подобная геохимическая особенность отмечается также в раннепротерозойских корах выветривания (сегозерская серия ятулия Балтийского щита) и в нижнерифейских пелитах платформенных бассейнов Северной Евразии [8–10, 15].

Рециклированный характер осадков венда Непского свода свидетельствует об их формировании в условиях стабильной (пассивной) континентальной окраины; источником сноса, скорее всего, служили породы выветрелого кристаллического фундамента, хотя нельзя исключать и переотложенные рифейские образования.

Авторы выражают благодарность Е.Ю. Голубковой за консультации и ценные замечания при под-

готовке текста статьи и А.В. Ивановской за предоставление некоторых аналитических данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вараксина И.В., Хабаров Е.М., Кротова М.М., Родякин С.В., Черныш П.С., Кугаколов С.А. (2009) Литология и петрофизика ботуобинского горизонта венда северо-востока Непско-Ботуобинской антеклизы. *Мат-лы V Междунар. науч. конгр. Т. 2*. Новосибирск: ГЕО-Сибирь. 162-165.
2. Геологический словарь. Т. 2. М.: Недра, 1973. 456 с.
3. Головенко В.К. (1977) Высокоглиноземистые формации докембрия. Л.: Недра. 268 с.
4. Голубкова Е.Ю. (2012) Микрофоссилии эдиакарского комплекса акантоморфной палинофлоры Восточной Сибири. *Современная микропалеонтология: труды XV Всерос. микропалеонтолог. совещ. (Гелленджик)*. М.: Изд-во ПИН РАН, 480-484.
5. Голубкова Е.Ю., Раевская Е.Г., Кузнецов А.Б. (2010) Нижневендские комплексы микрофоссилий Восточной Сибири в решении стратиграфических проблем региона. *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 18 (4), 3-27.
6. Жемчугова В.А., Некрасов И.А., Аманов Г.Г. (2011) Особенности седиментогенеза вендских нефтегазоносных отложений Непского свода. *Минеральные индикаторы литогенеза*. Сыктывкар: Геопринт, 137-138.
7. Ивановская А.В. (2014) Методическое руководство по применению геохимических параметров в осадконакоплении. СПб.: ВНИГРИ. 86 с.
8. Котова Л.Н., Подковыров В.Н. (2001) Петрохимия песчаников сибирского гипостратотипа рифея (Учуро-Майский регион). *Литология и полез. ископ.* (2), 142-154.
9. Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Гражданкин Д.В., Дмитриева Н.В., Ишерская М.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Вещева С.В., Лепихина О.П. (2008) Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 274 с.
10. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З. (2012) К оценке палеогеодинамических обстановок формирования осадочных последовательностей нижнего и среднего рифея Учуро-Майского региона и Башкирского мегантиклинория. *Тихоокеан. геология*. (5), 55-68.
11. Мигдисов А.А. (1960) О соотношении титана и алюминия в осадочных породах. *Геохимия*. (2), 149-163.
12. Неелов А.Н. (1980) Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканогенных пород. Л.: Наука, 100 с.
13. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. (1976) Пески и песчаники. М.: Мир, 536 с.
14. Подковыров В.Н. (2010) Литологические и геохимические тренды в верхневендских осадочных последовательностях запада Московской синеклизы. *Актуальные вопросы литологии. Мат-лы 8-го Уральского литолог. совещ.* Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 246-247.
15. Подковыров В.Н., Ковач В.П., Котова Л.Н. (2002)

- Глинистые отложения сибирского гипостратотипа рифея и венда: химический состав, Sm-Nd систематика источников и этапы формирования. *Литология и полез. ископаемые*. (4), 397-418.
16. Постникова О.В., Постников А.В., Соловьева Л.В., Коновальцева Е.С., Сивальнева О.В. (2012). К вопросу о ледниковом генезисе базальных пластов венда Сибирской платформы. *Ленинградская школа литологии. Мат-лы Всерос. литолог. совещ. Т. 2*. СПб.: СПбГУ, 175-176.
 17. Решения Четвертого Межведомственного регионального совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы (1989). Новосибирск: СНИИГГиМС, 64 с.
 18. Розен О.М., Нистратов Ю.А. (1984) Определение минерального состава осадочных пород по химическим анализам. *Сов. геология*, (3), 76-83.
 19. Рудавская В.А., Васильева Н.И. (1989) Талсинский комплекс акритарх Непско-Ботуобинской антеклизы. *Фитостратиграфия и морфология спор древних растений нефтегазоносных провинций СССР*. Л.: ВНИГРИ, 5-11.
 20. Семихатов М.А., Шуркин К.А., Аксенов Е.М., Беккер Ю.Р., Бибилова Е.В., Дук В.Л., Есипчук К.Е., Карсаков Л.П., Киселев В.В., Козлов В.И., Лобач-Жученко С.Б., Негруца В.З., Робонен В.И., Сезько А.И., Филатова Л.И., Хоментовский В.В., Шемякин В.М., Шульдинер В.И. (1991) Новая стратиграфическая шкала докембрия СССР. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* (4), 3-13.
 21. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. (2005) Под ред. Н.В. Мельникова. Новосибирск: ГЕО. 428 с.
 22. Тейлор Р.С., Мак-Леннан С.М. (1988) Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 384 с.
 23. Фомин А.М., Данькина Т.А. (2010). Распределение пород-коллекторов в нефтегазоносных горизонтах северо-восточной части Непско-Ботуобинской антеклизы. *Изв. Томского политех. университета*. **316** (1), 57-61.
 24. Фомин А.М., Лебедев М.В., Моисеев С.А. (2013) Предложения по уточнению стратиграфической схемы венда северо-востока Непско-Ботуобинской антеклизы. *Мат-лы IX Междунар. науч. конгр. Т. 1*. Новосибирск: СГГА, 29-33.
 25. Фомин А.М., Моисеев С.А., Топешко В.А. (2012) Талахский продуктивный горизонт (условия формирования, строение и перспективы нефтегазоносности). *Мат-лы VIII Междунар. науч. конф. Т. 2*. Новосибирск: СГГА, 14-18.
 26. Чумаков Н.М. (2011) Африканская ледниковая эра позднего протерозоя. *Стратиграфия. Геол. корреляция*. **19**(1), 3-23.
 27. Шемин Г.Г. (2007) Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина). Новосибирск: СО РАН, 467 с.
 28. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2000) Основы литохимии. СПб.: Наука, 479 с.
 29. Gu X.X. (1994) Geochemical characteristics of the Triassic Tethys-turbidites in northwestern Sichuan, China: Implications for provenance and interpretation of the tectonic setting. *Geochim. Cosmochim. Acta*. **58**, 4615-4631.
 30. Herron M.M. (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sediment. Petrol.* **58**(5), 820-829.
 31. McLennan M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. **284**, 21-40.
 32. Nath B.N., Kundendorf H., Pluger W.L. (2000) Influence of provenance, weathering, and sedimentary processes on the elemental ratios of the fine-grained fraction of the bedload sediments from the Vembanad lake and the Adjoining continental shelf, Southwest coast of India. *J. Sediment. Petrol.* **70**(5), 1081-1094.
 33. Nesbitt H.W., Young G.M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. **299**, 715-717.
 34. Roser B.P., Korsch R.J. (1986) Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *J. Geol.* **94**(5), 63-650.
 35. Roser B.P., Korsch R.J. (1988) Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.* **67**, 119-139.
 36. Sun S.S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. *Magmatism in the oceanic basins*. (Eds A.D. Saunders, M.J. Norry) *Geol. Soc. Amer. Spec. Publ.* **42**, 313-345.

Lithogeochemistry of fine-grained Vendian clastic rocks of the Nepa dome, Siberian Platform

L. N. Kotova, V. N. Podkovyrov, O. V. Graunov

Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS

It is conducted lithogeochemical investigation of Vendian fine-grained clastic sediments composed Talakh, Parshinsk (Nepa horizon) and Byuk suites (Tyre horizon) of some wells core material in Nepa dome of Nepa-Botuoba anteklise, Siberian Platform. Pelites of all three suites are characterized by variations in the composition from the sandstones to clays, with an increase in clay component up to the section, and have a common geochemical specifics. With moderately alkaline composition they belong to the class of high-K rocks, indicating similar environment of pelite formation due to bring in a shallow marine basin of Vendian passive continental margin the material of chemical weathering platform crusts in conditions of humid climate. Very likely, the source of sediments was the rocks crustal basement of the Siberian platform with possible participation Riphean sediments.

Key words: *Vendian, pelites, geochemical composition, recycled sediments, Nepa-Botuoba anteklise, Siberian Platform.*

REFERENCES

1. Varaksina I.V., Habarov E.M., Krotova M.M., Rodjakin S.V., Chernysh P.S., Kugakolov S.A. (2009) Litologiya i petrofizika botuobinskogo gorizonta venda severo-vostoka Nepsko-Botuobinskoy anteklizy [Lithology and petrophysics of the Botuobinsky horizon of the Vendian in northeast of the Nepa-Botuoba anteklise]. *Materialy V Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa T. 2.* Novosibirsk: GEO-Sibir'. 162-165. (in Russian)
2. Geologicheskij slovar' [Geological dictionary]. T. 2. Moscow: Nedra, 1973, 456 s. (in Russian)
3. Golovenok V.K. (1977) Vysokoglinozemistye formatsii dokembrija [High-alumina formations of the Precambrian]. Leningrad: Nedra, 268 s. (in Russian)
4. Golubkova E.Iu. (2012) Mikrofossilii ediakarskogo kompleksa akantomorfnoy palinoflory Vostochnoy Sibiri [Microfossils of the ediacaran complex acanthomorphic palynoflora of Eastern Siberia]: *Sovremennaja mikropaleontologiya: trudy XV Vserossiyskogo mikropaleontologicheskogo soveshchaniya (Gelendzhik)*. Moscow: Izdatel'stvo PIN RAN, 480-484. (in Russian)
5. Golubkova E.Iu., Raevskaja E.G., Kuznetsov A.B. (2010) Nizhnevendskie komplekсы mikrofossilij Vostochnoy Sibiri v reshenii stratigraficheskikh problem regiona [Lower-Vendian complexes of microfossils in Eastern Siberia in the solution of stratigraphic problems in the region]. *Stratigrafija. Geologicheskaja korreliatsiya*. 18 (4), 3-27. (in Russian)
6. Zhemchugova V.A., Nekrasov I.A., Amanov G.G. (2011) Osobennosti sedimentogeneza vendskikh neftegazonosnykh otlozheniy Nepskogo svoda [Peculiarities of sedimentogenesis of Vendian oil and gas bearing deposits of the Nepa Arch]. *Mineral'nye indikatory litogeneza*. Syktyvkar: Geoprint, 137-138. (in Russian)
7. Ivanovskaja A.V. (2014) Metodicheskoe rukovodstvo po primeneniju geokhimicheskikh parametrov v osadkonakoplenii [Methodological guidance on the application of geochemical parameters in the sediment deposition]. St.-Petersburg: VNIGRI, 86 s. (in Russian)
8. Kotova L.N., Podkovyrov V.N. (2001) Petrohimija peschanikov sibirskogo gipostratotipa rifeja (Uchuro-May'skiy region) [Petrochemistry of sandstones of hypostatotype of Siberian Riphean (Uchuro-May region)]. *Litologiya i poleznye iskopaemye* (2), 142-154. (in Russian)
9. Maslov A.V., Nozhkin A.D., Podkovyrov V.N., Letnikova E.F., Turkina O.M., Grazhdankin D.V., Dmitrieva N.V., Isherskaja M.V., Krupenin M.T., Ronkin Iu.L., Gareev E.Z., Veshcheva S.V., Lepihina O.P. (2008) Geohimija tonkozernistykh terrigennykh porod verkhnego dokembrija Severnoy Evrazii [Geochemistry of fine-grained terrigenous rocks of the upper Precambrian of Northern Eurasia]. Ekaterinburg: UrO RAN, 274 s. (in Russian)
10. Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Gareev E.Z. (2012) K otsenke paleogeodinamicheskikh obstanovok formirovaniya osadochnykh posledovatel'nostey nizhnego i srednego rifeja Uchuro-May'skogo regiona i Bashkir'skogo megantiklinorija [To the evaluation of paleogeodynamic settings of formation of the sedimentary sequences of the Lower and Middle Riphean Uchuro-Maya region and Bashkir megantiklinorium]. *Tihookeanskaja geologiya* (5), 55-68. (in Russian)
11. Migdisov A.A. (1960) O sootnoshenii titana i aluminija v osadochnykh porodakh [On the ratio of titanium and aluminum in the sediment]. *Geokhimija* (2), 149-163. (in Russian)
12. Neelov A.N. (1980) Petrohimicheskaja klassifikatsiya metamorfizovannykh osadochnykh i vulkanogennykh porod [Petrochemical classification of metamorphosed sedimentary and volcanic rocks]. Leningrad: Nauka, 100 s. (in Russian)
13. Pettijohn F., Potter P., Siver R. (1976) Peski i peschaniki [Sands and sandstones]. Moscow: Mir, 536 s. (in Russian)
14. Podkovyrov V.N. (2010) Litologicheskie i geokhimicheskie trendy v verkhnevendskikh osadochnykh posledovatel'nostyakh zapada Moskovskoy sineklizy [Lithological and geochemical trends in Upper Vendian sedimentary sequences West of Moscow syncline]. *Aktual'nye voprosy litologii. Materialy 8-go Ural'skogo litologicheskogo soveshchaniya*. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 246-247. (in Russian)

15. Podkovyrov V.N., Kovach V.P., Kotova L.N. (2002) Glinistye otlozheniya sibirskogo gipostatotipa rifeja i venda: himicheskiy sostav, Sm-Nd sistematika istochnikov i etapy formirovaniya [Clay deposits of the Siberian hypo-stratotype of Riphean and Vendian: chemical composition, Sm-Nd systematics of the sources and stages of formation]. *Litologiya i poleznye iskopaemye* (4), 397-418. (in Russian)
16. Postnikova O.V., Postnikov A.V., Solov'eva L.V., Konoval'tseva E.S., Sival'neva O.V. (2012). K voprosu o lednikovom genezise bazal'nykh plastov venda Sibirskoy platformy [To the question of the Vendian basal glacial layers genesis in Siberian platform]. *Leningradskaya shkola litologii: Materialy Vserossiyskogo litologicheskogo soveshchaniya. T. 2*. St.-Petersburg: SPbGU, 175-176. (in Russian)
17. Resheniya Chetvertogo Mezhdvoststvennogo regional'nogo soveshchaniya po utocnieniu i dopolnieniu stratigraficheskikh skhem venda i kembriya vnutrennikh rayonov Sibirskoy platformy (1989) [The decisions of the Fourth Interdepartmental regional meeting to clarify and supplement the stratigraphic scheme of Vendian and Cambrian inner areas of Siberian platform (1989)]. Novosibirsk: SNIIGiMS, 64 s. (in Russian)
18. Rozen O.M., Nistratov Iu.A. (1984) Opredelenie mineral'nogo sostava osadochnykh porod po khimicheskim analizam [Determination of mineral composition of sedimentary rocks by chemical analysis]. *Sovetskaya geologiya* (3), 76-83. (in Russian)
19. Rudavskaya V.A., Vasil'eva N.I. (1989) Talsinskiy kompleks akritarkh Nepsko-Botuobinskoy anteklizy [Talsinskiy complex acritarch of Nepsko-Botuobinskaya antecline]. *Fitostratigrafija i morfologija spor drevnikh rasteniy neftegazonosnykh provinciy SSSR*. Leningrad: VNIGRI, 5-11. (in Russian)
20. Semihatov M.A., Shurkin K.A., Aksenov E.M., Bekker Iu.R., Bibikova E.V., Duk V.L., Esipchuk K.E., Karsakov L.P., Kiselev V.V., Kozlov V.I., Lobach-Zhuchenko S.B., Negrutsa V.Z., Robonen V.I., Sez'ko A.I., Filatova L.I., Homentovskiy V.V., Shemjakin V.M., Shul'diner V.I. (1991) Novaya stratigraficheskaya shkala dokembriya SSSR [A new stratigraphic scale of the Precambrian of the USSR]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologiya* (4), 3-13. (in Russian)
21. Stratigrafija neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Rifey i vend Sibirskoy platformy i ejo skladchatogo obramleniya [Stratigraphy of petroleum basins of Siberia. Riphean and Vendian of Siberian platform and its folded framing]. (2005) Pod redaktsiey N.V. Mel'nikova. Novosibirsk: GEO, 428 s. (in Russian)
22. Teylor R.S., Mak-Lennan S.M. (1988) Kontinental'naja kora: ejo sostav i evoliutsiya [Continental crust: its composition and evolution]. Moscow: Mir, 384 s. (in Russian)
23. Fomin A.M., Dan'kina T.A. (2010). Raspredelenie porod-kollektorov v neftegazonosnykh gorizontakh severovostochnoy chasti Nepsko-Botuobinskoy anteklizy [The distribution of reservoir rocks in oil and gas bearing horizons of the northeastern part of Nepsko-Botuobinskaya antecline]. *Izvestiya Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta*. **316** (1), 57-61. (in Russian)
24. Fomin A.M., Lebedev M.V., Moiseev S.A. (2013) Predlozheniya po utocnieniu stratigraficheskoy skhemy venda severo-vostoka Nepsko-Botuobinskoy anteklizy [The proposals for the refinement of the stratigraphic scheme of Vendian northeast of the Nepa-Botuoba antecline]. *Materialy IX Mezhdunarodnogo nauchogo kongressa T. 1*. Novosibirsk: SGGA, 29-33. (in Russian)
25. Fomin A.M., Moiseev S.A., Topeshko V.A. (2012) Talakhskiy produktivnyy gorizont (usloviya formirovaniya, stroenie i perspektivy neftegazonosnosti) [Talakhskiy productive layer (the condition of formation, structure and petroleum prospects)]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii T. 2*. Novosibirsk: SGGA, 14-18. (in Russian)
26. Chumakov N.M. (2011) Afrikanskaya lednikovaya era pozdnego proterozoya [Chumakov N. M. (2011) African glacial era of Late Proterozoic]. *Stratigrafija. Geologicheskaya korrelyatsiya*. **19**(1), 3-23. (in Russian)
27. Shemin G.G. (2007) Geologiya i perspektivy neftegazonosnosti venda i nizhnego kembriya tsentral'nykh rayonov Sibirskoy platformy (Nepsko-Botuobinskaya, Bai'kitskaya anteklizy i Katangskaya sedlovina) [Shemin G.G. (2007) Geology and petroleum potential of Vendian and Lower Cambrian of central regions of the Siberian platform (Nepa-Botuoba, Baikite antecises and Katanga saddle)]. Novosibirsk: SO RAN, 467 s. (in Russian)
28. Judovich Ia.E., Ketris M.P. (2000) Osnovy lithimii [Foundations of lithochemistry]. St.-Petersburg: Nauka, 479 s. (in Russian)
29. Gu X.X. (1994) Geochemical characteristics of the Triassic Tethys-turbidites in northwestern Sichuan, China: Implications for provenance and interpretation of the tectonic setting. *Geochim. Cosmochim. Acta*. **58**, 4615-4631.
30. Herron M.M. (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log date. *J. Sediment. Petrol.* **58**(5), 820-829.
31. McLennan M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. **284**, 21-40.
32. Nath B.N., Kunzendorf H., Pluger W.L. (2000) Influence of provenance, weathering, and sedimentary processes on the elemental ratios of the fine-grained fraction of the bedload sediments from the Vembanad lake and the Adjoining continental shelf, Southwest coast of India. *J. Sediment. Res.* **70**(5), 1081-1094.
33. Nesbitt H.W., Young G.M. (1982). Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. **299**, 715-717.
34. Roser B.P., Korsch R.J. (1986) Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *J. Geol.* **94**(5), 63-650.
35. Roser B.P., Korsch R.J. (1988) Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chem. Geol.* **67**, 119-139.
36. Sun S.S., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. *Magmatism in the oceanic basins*. (Eds A.D. Saunders, M.J. Norry) *Geol. Soc. Amer. Spec. Publ.* **42**, 313-345.