



УДК 550.4

## ЛИТОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД СОРТЫМСКОЙ СВИТЫ ПЯКХИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (север Западной Сибири)

Ю. В. Титов, С. В. Астаркин, О. П. Гончаренко,  
В. В. Колпаков, О. В. Гудушкина

Титов Юрий Владимирович, геолог 1-й категории Отдела первичной обработки и хранения керн, Центр исследования керн и пластовых флюидов филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», Тюмень, titovoil@k66.ru

Астаркин Сергей Васильевич, заведующий Лабораторией минералогии петрографии Отдела литолого-физических исследований, Центр исследования керн и пластовых флюидов филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», Тюмень, sv.astarkin@rambler.ru

Гончаренко Ольга Павловна, доцент, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой петрографии и минералогии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, GoncharenkoOP@mail.ru

Колпаков Виталий Викторович, начальник Центра исследования керн и пластовых флюидов, филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», Тюмень (Ханты-Мансийский автономный округ, г. Когалым), KolpakovVV@nipi.ws.lukoil.com.

Гудушкина Ольга Васильевна, техник 1-й категории Отдела первичной обработки и хранения керн, Центр исследования керн и пластовых флюидов филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», Тюмень (Ханты-Мансийский автономный округ, г. Когалым), guduolga@yandex.ru.

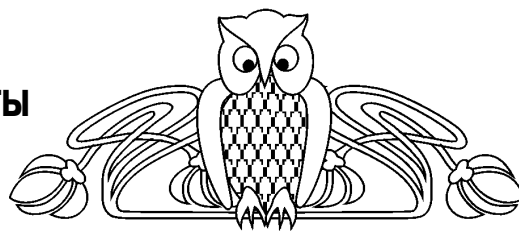
В статье приведена литогеохимическая характеристика пород сортымской свиты. Выявлено, что породы относятся к сиааллитам и гидролизатам, значения натриевого модуля и калиевого модуля указывают преимущественно на граувакковый состав отложений, содержащих гидрослюда + хлорит ± плагиоклаз. Степень зрелости поступивший в бассейн тонкой алюмосиликокластики была умеренной ( $CI_A < 70$ ). Сортымский палеобассейн характеризовался небольшой глубиной с увеличением солёности с востока на запад. Исходя из медианных значений  $La_N/Yb_N$  и  $La_N/Sm_N$  и отношений  $La/Sc$ ,  $Sc/Th$ ,  $Cr/Th$ ,  $Co/Th$  можно считать, что в сортымское время на водосборах доминировали гранитоиды.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь, терригенные породы, сортымская свита, геохимические модули.

### Lithochemical Properties of Terrigenous Rocks of Sortymsky Suite of Pyakhykhinskoye Field (North of Western Siberia)

Y. V. Titov, S. V. Astarkin, O. P. Goncharenko,  
V. V. Kolpakov, O. V. Guduchkina

Yury V. Titov, ORCID 0000-0002-4205-9620, KogalymNIPneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen, 19/18, Str. Central, Kogalym, 628481, Russia, titovoil@k66.ru



Sergey V. Astarkin, ORCID 0000-0002-5758-2123, KogalymNIPneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen, 19/18, Str. Central, Kogalym, 628481, Russia, sv.astarkin@rambler.ru

Olga P. Goncharenko, ORCID 0000-0002-4731-8740, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, GoncharenkoOP@mail.ru

Vitaly V. Kolpakov, ORCID 0000-0002-2602-8728, KogalymNIPneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen, 19/18, Str. Central, Kogalym, 628481, Russia, KolpakovVV@tmn.lukoil.com

Olga V. Guduchkina, ORCID 0000-0002-1425-8913 KogalymNIPneft Branch of LUKOIL-Engineering LLC in Tyumen, 19/18, Str. Central, Kogalym, 628481, Russia, guduolga@yandex.ru

The article represents lithochemical characteristics of rocks of sortymsky suite. It is revealed that the rocks belong to sialites and the hydrolysates, the values of Sodium Module and Potassium Module indicates on sediments of greywacke containing hydro-mica, chlorite, plagioclase. Degree the maturity received by a thin pool aluminosilicates was moderate ( $CI_A < 70$ ). Sortymsky the basin was characterized by shallow depth with an increase in salinity of the East to the West. Proceeding from median value  $La_N/Yb_N$  и  $La_N/Sm_N$ , ratio  $La/Sc$ ,  $Sc/Th$ ,  $Cr/Th$ ,  $Co/Th$  and etc it is possible to conceive, that in Sortymsky time the granitoids dominated in prevalence.

**Key words:** Western Siberia, terrigenous rocks, Sortymsky suite, geochemical modules.

DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-54-61

Отложения сортымской свиты в пределах центральной части Большехетской впадины объединяют осадки берриасского и валанжинского ярусов. На изучаемой территории осадки распространены в зоне сочленения двух фациальных районов – Тазовском и Уренгойском [1]. Входящие в ее состав песчаные и алевритовые разности характеризуются фациальной изменчивостью, невыдержанностью фильтрационно-емкостных характеристик и высокой степенью постдиагенетических преобразований. Поэтому немаловажным вопросом является реконструкция доседиментационной истории осадков путем рассмотрения характера вариаций литогеохимических параметров.

Выполненные исследования основаны на химических анализах 70 образцов песчаников и 20 алевролитов пласта БУ<sub>18</sub> сортымской свиты Пякхинского месторождения. Содержание основных породообразующих оксидов и элементов-примесей определено в Центре исследования керн



на и пластовых флюидов г. Когалым. Кроме того, определение элементов-примесей из 4 образцов было выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) в г. Екатеринбург в Институте геологии и геохимии УрО РАН.

Песчаники характеризуются широкими вариациями содержания всех породообразующих оксидов (табл. 1). Так, медианное содержание оксида кремния в них составляет 64,56%, тогда как минимальное и максимальное содержание составляет соответственно 52,16% и 75,89%. Для оксидов алюминия, калия и натрия соответствующие параметры составляют (в %):  $Al_2O_3$  – 13,55; 9,84 и 16,35;  $K_2O$  – 3,33; 1,16 и 8,70;  $Na_2O$  – 3,16; 1,23 и 5,16. Значительные вариации содержания основных породообразующих оксидов характерны и для алевролитов. Медианное содержание оксида кремния в них составляет 48,08%, тогда как минимальное и максимальное содержание  $SiO_2$  различается почти в 2,6 раза (25,38% и 65,67%). Разброс тех же параметров для оксидов калия и натрия составляет соответственно 0,85 и 5,76, 1,12 и 3,16%. Минимальная величина содержания  $Al_2O_3$  составляет 7,11%, максимальная – 17,67%, тогда как медианное значение равно 12,62%. Потери при прокаливании в исследованных образцах алевролитов составляют 9,1% (медианное значение), минимальная величина данного параметра 1,66%, максимальная 38,66%.

В целом содержание малых элементов в отложениях пласта БУ<sub>18</sub> сопоставимо с кларками в песчаниках (табл. 2). Как видно из приведенных данных, концентрации F, S, Li, B, Mn, Cu, Zn, Ga, Ge, Zr, Mo, Cd, Cs, Sn, Rb, Ce, Pr, Nd, Er, Tm чаще всего довольно близки к кларку. Ниже кларковой концентрации тяжелых редкоземельных элементов. Лишь некоторые элементы (F, Sc, Cl, V, Mn, Co, Ni, Se, Sr, Ba) содержатся в количествах, превышающих кларк в песчаниках иногда до 3–7 раз. В большей степени это связано с подвижностью элементов, способных легко переходить в раствор.

Известно, что содержание тех или иных оксидов само по себе не дает надежной и тем более исчерпывающей информации, поскольку

они представляют закрытую числовую систему: увеличение одного показателя приводит к снижению значений других. Поэтому неискаженную характеристику можно получить, пользуясь геохимическими модулями, т. е. отношением между содержанием оксидов [3]. Упомянутые модули, предложенные Я. Э. Юдовичем и М. П. Кетрис [4], использованы и для характеристики терригенных пород пласта БУ<sub>18</sub>.

Из выполненных расчетов видно, что значения гидрализатного (ГМ) и алюмокремниевое (АМ) модулей имеют достаточно сходный характер (табл. 3). Медианное значение ГМ в песчаниках составляет 0,32 (min = 0,27, max = 0,37). Величина ГМ в алевролитах варьирует от 0,37 до 1,45 при медианном значении 0,77. Следовательно, в соответствии с классификацией Я. Э. Юдовича и М. П. Кетрис [4] песчаники пласта БУ<sub>18</sub> относятся к сиаллитам ( $0,31 < ГМ < 0,50$ ), в некоторых случаях к силитам ( $ГМ < 0,30$ ), алевролиты к гидролизатным породам, содержащим свободные оксиды алюминия, железа, марганца. Незначительное увеличение средних значений АМ и ГМ в песчаниках свидетельствует о поступлении в область седиментации все более зрелого в петрохимическом отношении кластического материала. Можно видеть, что для скважин 2012Р, 2013Р, 2015Р амплитуда разброса средних значений АМ и ГМ в алевролитах несколько увеличивается, причем в некоторых случаях даже превосходит норму гидрализатов ( $> 0,55$ ). Это может быть связано, с одной стороны, с различным удалением от областей размыва, различавшихся составом и степенью преобразованности пород, с другой – активизацией тектонических процессов. Возможно также появление в области питания новых источников сноса [5].

Следует заметить, что в большинстве скважин вариации титанистого модуля (ТМ) не согласуются с его константами для различных фациальных обстановок. Так, вариации ТМ в песчаных породах отчетливо ниже, чем в алевролитовых: 0,02–0,06 против 0,03–0,10. В свою очередь, низкие значения ТМ в аркозах могут фиксировать источник сноса, сложенный породами кислого состава [5].

Таблица 1

**Медианное, минимальное и максимальное содержание основных породообразующих компонентов в породах сортымской свиты, %**

Характеристики	$SiO_2$	$TiO_2$	MnO	$Fe_2O_3+FeO$	CaO	MgO	$K_2O$	$Na_2O$	$Al_2O_3$	$P_2O_5$	ППП
Песчаники											
Медиана	64,56	0,41	0,05	5,35	2,97	2,11	3,33	3,16	13,55	0,11	4,47
min	52,16	0,001	0,001	1,73	0,83	0,70	1,16	1,23	9,84	0,00	1,03
max	75,89	1,24	0,21	15,50	14,93	4,60	8,70	5,16	16,35	0,30	19,70
Алевролиты											
Медиана	48,08	0,78	0,16	14,61	5,77	2,95	2,95	2,16	12,62	0,20	9,10
min	25,38	0,26	0,04	3,44	0,55	1,61	0,85	1,12	7,11	0,03	1,66
max	65,67	1,71	0,60	50,40	36,80	4,29	5,76	3,16	17,67	0,46	38,66



Таблица 2

Среднее содержание малых элементов в нижнемеловых песчаниках пласта БУ<sub>18</sub>, % мас.

Химический элемент	Кларк* в песчаниках	Среднее по скважинам	Скважины					
			2004P (n=5)	2007P (n=15)	2012P (n=5)	2013P (n=5)	2020P (n=16)	2020P** (n=4)
F	$2,4 \cdot 10^{-2}$	0,08	0,09	0,08	0,11	0,12	0,04	–
S	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,04	0,01	0,04	0,026	0,05	0,08	–
Li	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	–	–	–	–	–	$1 \cdot 10^{-3}$
Be	$n \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	–	$1 \cdot 10^{-4}$
B	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	–	–	–	–	–	$3 \cdot 10^{-3}$
Sc	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	–	–	–	–	0,002	$4 \cdot 10^{-4}$
Ti	0,2	0,12	–	–	–	–	–	0,12
Cl	$1 \cdot 10^{-3}$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	–	–
V	$2 \cdot 10^{-3}$	0,009	0,008	0,01	0,01	0,01	0,008	0,003
Cr	$3,5 \cdot 10^{-3}$	0,007	0,005	0,01	0,007	0,009	0,005	0,002
Mn	$4 \cdot 10^{-2}$	0,01	–	–	–	–	–	0,01
Co	$3 \cdot 10^{-5}$	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,0004
Ni	$2 \cdot 10^{-4}$	0,004	0,003	0,003	0,004	0,005	0,004	0,006
Cu	$1 \cdot 10^{-3}$	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0008
Zn	$2,1 \cdot 10^{-3}$	0,004	0,003	0,004	0,0054	0,005	0,004	0,006
Ga	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	–	–	–	–	–	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Ge	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	–	$1 \cdot 10^{-4}$
As	$1 \cdot 10^{-4}$	0,005	0,01	0,005	0,006	0,006	0,001	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Se	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$2 \cdot 10^{-5}$
Rb	$5,5 \cdot 10^{-3}$	0,010	0,009	0,01	0,011	0,012	0,01	0,007
Sr	$2 \cdot 10^{-2}$	0,073	0,07	0,06	0,087	0,090	0,06	0,035
Y	$4 \cdot 10^{-3}$	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,002	0,008
Zr	$2,2 \cdot 10^{-2}$	0,020	0,018	0,02	0,021	0,020	0,02	0,002
Nb	$n \cdot 10^{-6}$	0,001	–	0,001	0,001	0,002	0,001	$5 \cdot 10^{-4}$
Mo	$2 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Ag	$n \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Cd	$n \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	–	–	–	–	–	$4 \cdot 10^{-6}$
Sn	$n \cdot 10^{-5}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	–	$7,9 \cdot 10^{-4}$
Sb	$n \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	–	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Te	–	$2 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$2 \cdot 10^{-5}$
Cs	$n \cdot 10^{-5}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	–	$8,6 \cdot 10^{-4}$
Ba	$1,8 \cdot 10^{-2}$	0,104	0,092	0,10	0,10	0,10	0,13	0,09
Rb	$5,5 \cdot 10^{-3}$	0,009	0,009	0,009	0,01	0,01	0,01	0,007
La	$3 \cdot 10^{-5}$	0,004	0,0064	0,004	0,004	0,004	0,002	0,001
Ce	$9,2 \cdot 10^{-3}$	0,008	0,007	0,01	0,008	0,009	0,004	0,003
Pr	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	–	$4 \cdot 10^{-4}$
Nd	$3,7 \cdot 10^{-3}$	0,0014	–	–	–	–	–	0,0014
Sm	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	–	$2 \cdot 10^{-4}$
Eu	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$6,4 \cdot 10^{-5}$
Gd	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	–	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Tb	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$2,7 \cdot 10^{-5}$
Dy	$7,2 \cdot 10^{-4}$	0,0001609	–	–	–	–	–	0,0001609
Ho	$2 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$3,1 \cdot 10^{-5}$
Er	$4 \cdot 10^{-4}$	$9,1 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$9,1 \cdot 10^{-5}$
Tm	$3 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$1,2 \cdot 10^{-5}$

Химический элемент	Кларк* в песчаниках	Среднее по скважинам	Скважины					
			2004P (n=5)	2007P (n=15)	2012P (n=5)	2013P (n=5)	2020P (n=16)	2020P** (n=4)
Yb	$4 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$8,3 \cdot 10^{-5}$
Lu	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Hf	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	–	$8 \cdot 10^{-4}$
Ta	$n \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$3 \cdot 10^{-5}$
W	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	–	–	–	–	–	$5 \cdot 10^{-4}$
Tl	$8 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	–	–	–	–	–	$4 \cdot 10^{-5}$
Pb	$7 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	–	–	–	–	–	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Bi	–	$3 \cdot 10^{-6}$	–	–	–	–	–	$3 \cdot 10^{-6}$
U	$4,5 \cdot 10^{-4}$	0,0004	0,0001	0,0011	0,0002	0,0002	0,0002	$8 \cdot 10^{-5}$
Th	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,001	0,001	0,0009	0,0011	0,001	0,001	$10 \cdot 10^{-3}$

Примечание. \* Значение кларка взято из работы «Интерпретация геохимических данных», 2001. \*\* Определения по методу ICP MS.

Таблица 3

Значения геохимических модулей для терригенных отложений пласта БУ<sub>18</sub>

Скважины	Количество проб	Модули							
		ГМ	АМ	ФМ	ТМ	НМ	ЩМ	КМ	НКМ
Песчаники									
2000П	3	0,34	0,23	0,12	0,02	0,23	1,18	0,19	0,42
2002П	4	0,37	0,24	0,16	0,06	0,19	0,87	0,22	0,43
2003P	4	0,27	0,19	0,12	0,05	0,12	0,72	0,17	0,29
2004P	5	0,28	0,21	0,10	0,02	0,25	1,80	0,15	0,40
2007P	16	0,30	0,21	0,11	0,02	0,26	0,99	0,28	0,54
2009P	4	0,34	0,24	0,13	0,04	0,17	0,78	0,23	0,40
2010P	3	0,37	0,24	0,16	0,05	0,19	0,83	0,23	0,42
2012P	5	0,33	0,23	0,13	0,02	0,20	1,06	0,19	0,39
2013P	5	0,33	0,23	0,13	0,02	0,22	1,24	0,18	0,40
2015P	5	0,35	0,18	0,18	0,05	0,26	0,48	0,58	0,84
2020P	16	0,29	0,20	0,10	0,04	0,25	1,13	0,22	0,48
Медиана		0,32	0,21	0,13	0,03	0,21	1,01	0,24	0,46
min		0,27	0,18	0,1	0,02	0,12	0,48	0,15	0,29
max		0,37	0,24	0,18	0,06	0,26	1,80	0,58	0,84
Алевриты									
2002П	7	0,44	0,27	0,21	0,06	0,17	0,80	0,21	0,38
2007P	4	0,37	0,24	0,18	0,03	0,21	0,76	0,28	0,49
2009P	1	0,56	0,25	0,35	0,06	0,20	1,00	0,20	0,40
2010P	1	0,38	0,24	0,19	0,05	0,18	0,62	0,29	0,48
2012P	1	1,25	0,33	1,00	0,04	0,12	0,87	0,14	0,26
2013P	2	1,23	0,28	1,00	0,04	0,16	1,74	0,10	0,26
2015P	2	1,45	0,26	1,25	0,1	0,15	0,28	0,54	0,69
2020P	2	0,48	0,26	0,22	0,09	0,20	0,95	0,21	0,41
Медиана		0,77	0,26	0,55	0,05	0,17	0,88	0,24	0,42
min		0,37	0,24	0,18	0,03	0,12	0,28	0,10	0,26
max		1,45	0,33	1,25	0,10	0,21	1,74	0,54	0,69

Примечание. ГМ – гидролизатный модуль; АМ – алюмокремневый модуль; ФМ – фемический модуль; ТМ – титановый модуль; НМ – натриевый модуль; ЩМ – щелочной модуль; КМ – калиевый модуль; НКМ – общая нормативная щелочность.



Значения отношения натриевого (НМ) и калиевого (КМ) модулей для песчаных разностей указывает преимущественно на граувакковые песчаники ( $НМ > 0,20$ ), содержащие гидрослюда + хлорит  $\pm$  плагиоклаз ( $0,10 < КМ < 0,30$ ). В алевролитах данные индикаторы классифицируются как терригенные отложения ( $0,05 < НМ < 0,20$ ), включающие гидрослюда + хлорит. Вариации медианных значений натриевого и калиевого модуля, скорее всего, обусловлены увеличением в составе пород Na-K-содержащих компонентов, вероятно, связанных с размывом породных ассоциаций соответствующего состава. Медианные значения НКМ составляют 0,46, причем минимальное и максимальное отличаются более чем в 1,5 раза. В целом песчаники и алевролиты характеризуются как повышенно-щелочные. Основываясь на данных Ф. Дж. Петтиджона с соавторами [6], выявлено, что вся рассматриваемая совокупность песчаников сортымской свиты отвечает как аркозовому, так и грауваковому составу (рис. 1, а). Например, для скважин 2002П, 2003Р и 2009Р, 2010Р, расположенных в западной и восточной частях месторождения, свойственен аркозовый состав песчаников, для юго-восточной и центральной частей (2020Р, 2000П, 2012Р, 2013Р) – как грауваковый, так и аркозовый. При этом следует иметь в виду, что поля разных групп песчаников на классификационной диаграмме не совсем согласуются с соответствующими полями на подобной диаграмме петрографической классификации [7]. Это закономерно, так как при использовании данных химического состава большую роль играет цементирующее вещество и другие (аутигенные и аллотигенные) компоненты породы, которые в петрографических классификациях не учитываются. В нашем случае за счет глинистых минералов существенно увеличивается содержание  $Al_2O_3$  на количество  $Na_2O$ , вероятно,

влияют цеолиты. Поэтому изученные породы по химическому составу преимущественно попадают в поле граувакк.

На классификационной диаграмме Ф. Дж. Петтиджона в координатах  $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Na_2O/K_2O)$  фигуративные точки составов песчаников образуют поля, занимающие несколько классификационных ячеек, отвечающие грауваккам, лититам и в меньшей степени аркозам (рис. 1, б), что указывает на неполное созревание пород [8].

Важным показателем для оценки палеоклимата является индекс химического выветривания  $CIA = 100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$ . Значения этого индекса в изучаемых отложениях в большинстве случаев составляют менее 70, что характерно для пород, в составе которых преобладает слабовыветрелый материал. Из этого следует, что климат на водосборах был достаточно близок к аридному. На существенную роль аридного климата и низкой зрелости песчаников указывает положение фигуративных точек функции процентного содержания  $SiO_2$  к суммарному содержанию  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$  и  $Na_2O$  (рис. 2, а).

Характер распределения таких элементов, как Th, Zr и Sc, позволяет предполагать, что при накоплении песчаников процессы переотложения не были определяющими [3]. Все точки проанализированных песчаников оказались сконцентрированными вдоль линии тренда, определяемой составом пород на палеоводосборах (рис. 2, б). Тренду же рециклинга, контролируемого высокими содержаниями в породах устойчивых к механическому истиранию зерен циркона, не соответствует ни один из образцов. Сравнительно высокие значения отношения Th/Sc в песчаниках указывают, что на палеоводосборах во время накопления отложений сортымской свиты преобладали породы кислого ряда.

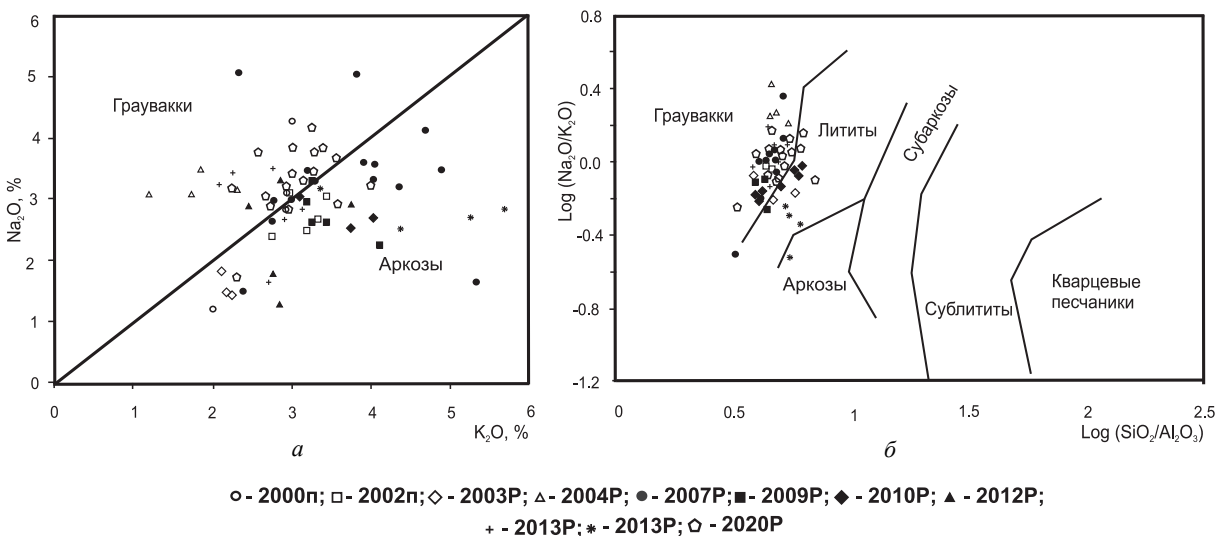


Рис. 1. Положение фигуративных точек составов песчаников сортымской свиты на диаграммах: а –  $Na_2O/K_2O$ ; б –  $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Na_2O/K_2O)$

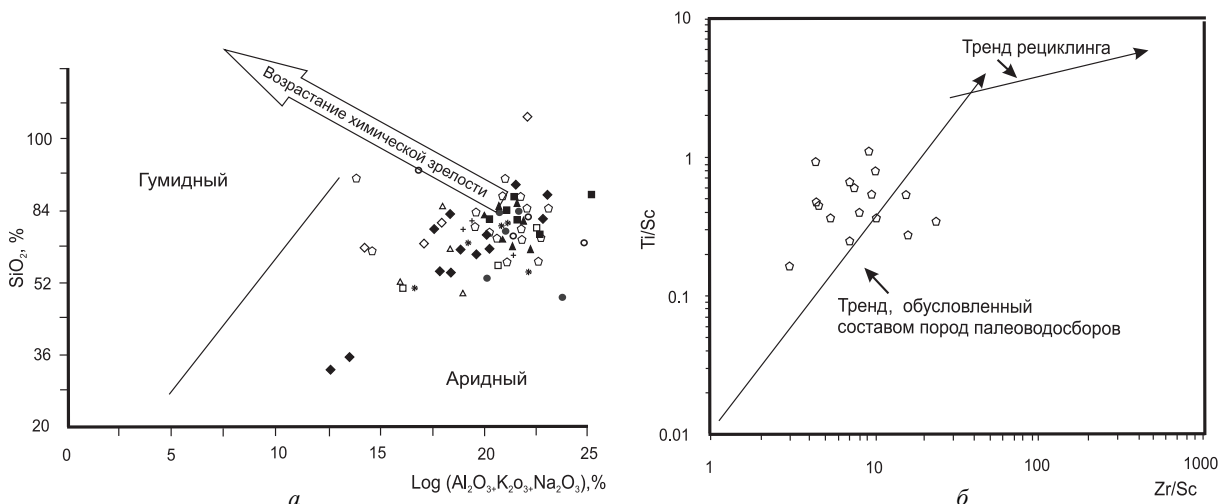


Рис. 2. Положение фигуративных точек составов песчаников сортымской свиты на диаграммах в координатах: а –  $\text{SiO}_2 - (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ ; б –  $\text{Zr}/\text{Sc} - \text{Th}/\text{Sc}$ . Условные обозначения см. рис. 1

Для характеристики состава материнских пород в области сноса использованы соотношения  $\text{La}/\text{Sc}$ ,  $\text{Sc}/\text{Th}$ ,  $\text{Cr}/\text{Th}$ ,  $\text{Co}/\text{Th}$ , которые заметно различаются в разных типах пород [9]. Цифры (см. табл. 1, 2) свидетельствуют о том, что наибольшее сходство изучаемые отложения имеют с песчаниками, состоящими из обломков кислых пород. Такой же вывод следует из отношения  $\text{Ti}/\text{Zr}$ . Согласно [10] среднее отношение  $\text{Ti}/\text{Zr}$  для базальтов приближается к 70, для андезитов – 30, а для кислых вулканитов оно меньше (10–15). Так, в песчаниках сортымской свиты это отношение колеблется в среднем  $\sim 10$ , что может свидетельствовать о наличии кислых пород в составе обломков.

В то же время отношение  $\text{Ti}/\text{Zr}$  может быть использовано для оценки дальности переноса терригенного материала [10]. Данный параметр отражает лучшую сохранность цирконов по сравнению с  $\text{Ti}$ -содержащими минералами при длительной транспортировке или многократном переотложении кластики. Породы, образованные недалеко от источников сноса, имеют более высокие значения указанного отношения, нежели породы, в составе которых присутствует материал разрушения того же источника сноса, но перемещенный на большее расстояние. В исследованных образцах отношение  $\text{Ti}/\text{Zr}$  варьирует от  $\sim 7$  до  $\sim 14$ , следовательно, рассматриваемые породы, по всей видимости, образованы недалеко от источников сноса или переработка обломочного материала при транспортировке его в конечный бассейн стока была небольшой.

С целью реконструкции солёности палеобассейна применялось отношение  $\text{Sr}/\text{Ba}$  [10], полученные данные во всех случаях меньше 1 и меняются от 0,47 до 0,90. Повышенные значения этого отношения характерны в целом для отложений западной части месторождения (скв. 2004Р, 2012Р, 2013Р), пониженные – северной и центральной

(скв. 2007Р, 2020Р). Отсюда можно полагать, что прилегающая к области сноса прибрежная часть была опреснена, а увеличение солёности происходило с востока на запад.

Считается [11], что процессы постседиментационного преобразования не оказывают существенного влияния на распределение редкоземельных элементов (REE). Поэтому с целью уточнения состава материнских пород и соответственно источников сноса для пород сортымской свиты проводилось изучение REE по керну скважины 2020Р.

Общее содержание REE (табл. 4) в проанализированных пробах варьирует от 41,93 до 161,0 г/т, что в целом типично для тонкозернистых терригенных пород [9]. Главными носителями REE, по-видимому, являются глинистые минералы и, возможно, слюды. Такую вероятность предполагает наиболее высокая концентрация REE (161,0 г/т) в образце с высоким содержанием глинистой составляющей. Отношение  $\text{La}_N/\text{Sm}_N$  варьирует от 4,3 до 4,8, в то время как соотношение тяжелых элементов ( $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N$ ) = 1,4–1,9. В целом соотношение легких и тяжелых элементов 11,9–14,5. Такое распределение ПЗЭ ( $\text{La}_N/\text{Yb}_N > 8$  и  $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N > 1,5$ ) указывает на преобладание в областях питания кислых магматических образований [10]. Незначительное изменение отношения  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  свидетельствует о стабильности условий осадконакопления. Нормирование на хондрит REE в пробах характеризуется слабовыраженной европиевой аномалией ( $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{\text{медиан}} = 0,91$ ), что предполагает преобладание в областях размытия докембрийских кристаллических пород или пород, сформированных за счет ювенильного материала, не претерпевшего существенного преобразования в континентальной коре [10]. Среднее значение отношения  $\text{Ce}/\text{Ce}^*$  ( $\text{Ce}/\text{Ce}^* = \text{Ce}_N/(\text{La}_N + \text{Pr}_N/2)$ ) = 0,98, что соответствует окраинноконтинентальным обстановкам осадконакопления.



В литературе для отложений морского генезиса часто используют нормирование по Sm в связи с тем, что морская вода является непосредственным источником REE в осадках и осадочных породах [11]. В нашем случае отмечается близость геохимического отношения песчаников сортымской свиты La/Sm (6,9–8,6), Ce/Sm (14,0–16,9), Yb/Sm (0,34–0,4), Y/Sm (3,06–3,29) с шельфовыми водами в прибрежной части бассейна (от 0 до 350 м).

Таким образом, на основе проведенного анализа геохимических данных можно сделать следующие выводы: проанализированные пробы песчаников и алевролитов сортымской свиты относятся к сиаллитам и гидролизатам, что предполагает относительно небольшую в целом преобразованность алюмосиликокластики процессами химического выветривания. На существенно аркозовый и граувакковый состав песчаников указывают классификационные диаграммы Ф. Дж. Петтиджона с соавторами, причем степень зрелости алюмосиликокластики, поступавшей в бассейн на протяжении формирования пласта БУ<sub>18</sub>, была умеренной, о чем свидетельствуют индексы химического выветривания.

Таблица 4

Содержание REE, г/г, и геохимические коэффициенты в отложениях сортымской свиты нижнего мела

Элемент	Номер пробы			
	П2020-1	П2020-2	П2020-3	П2020-5
La	16,36	9,50	35,29	15,73
Ce	32,27	18,33	71,74	30,34
Pr	3,36	2,00	7,81	3,21
Nd	11,61	7,15	28,53	11,24
Sm	1,91	1,31	5,05	2,02
Eu	0,50	0,41	1,13	0,53
Gd	1,37	0,93	3,56	1,40
Tb	0,20	0,14	0,52	0,22
Dy	1,20	0,86	3,11	1,27
Ho	0,24	0,17	0,60	0,25
Er	0,72	0,49	1,70	0,73
Tm	0,10	0,07	0,24	0,10
Yb	0,64	0,52	1,52	0,66
Lu	0,09	0,07	0,21	0,09
ΣREE	70,56	41,93	161,00	67,78
LREE/HREE	14,46	11,91	13,06	13,39
ΣCe/ΣY	6,09	5,22	5,56	5,69
(La/Yb) <sub>N</sub>	17,12	12,36	15,72	16,17
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1,72	1,44	1,90	1,72
Ce/Ce*	0,99	0,96	0,99	0,97
Eu/Eu*	0,90	1,07	0,77	0,92

Примечание. Индекс N означает, что используются нормированные по хондритам величины.

В качестве источников сноса обломочного материала выступали кислые магматические образования кислого состава, расположенные к северу, северо-востоку от изучаемой территории. Осадконакопление происходило недалеко от источников сноса. Тем самым переработка обломочного материала при транспортировке его в приемный водоем была небольшой. Опреснение и увеличение солености происходили с востока на запад. В целом транзит терригенного материала в сортымский палеобассейн осуществлялся по двум макронаправлениям: с северо-востока из Енисей-Хатангского регионального прогиба и с востока с Сибирской платформы, что не противоречит общим представлениям о закономерностях осадконакопления в валанжин-берриасское время [12, 13]. Вероятно, часть осадков временами поступала также с Мессояхского пояса, который в валанжинское время возвышался над поверхностью Западно-Сибирского палеобассейна и активно разрушался.

#### Библиографический список

1. Решения 5-го Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозойским отложениям Западно-Сибирской равнины, принятые МРСС-90 14–18 мая 1990 г. и утвержденным МСК СССР 30 января 1991 г. Тюмень : ЗапСибНИГНИ, 1991. 54 с.
2. Интерпретация геохимических данных / под ред. Е. В. Склярова. М. : Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
3. Алексеев В. П., Федоров Ю. Н., Маслов А. В., Русский В. И., Печеркин М. Ф., Пудовкина М. А. Состав и генезис отложений тюменской свиты Шаимского нефтегазозносного района (Западная Сибирь). Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2007. 209 с.
4. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Минеральные индикаторы литогенеза. Сыктывкар : Геопринт, 2008. 564 с.
5. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар : Геопринт, 2011. 742 с.
6. Петтиджон Ф. Дж., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники : пер. с англ. М. : Мир, 1976. 534 с.
7. Тутов Ю. В. Литолого-фациальная характеристика нижнемеловых отложений Большехетской впадины (по данным изучения пласта БУ18 Пякяхинского газоконденсатного месторождения) // Приоритетные и инновационные направления литологических исследований : материалы 9-го Уральского литологического совещания. Екатеринбург : ИГТ УрО РАН, 2012. С. 175–176.
8. Шванов В. Н. Петрография песчаных пород. Л. : Недра, 1987. 270 с.
9. Мизенс Г. А. Редкие элементы и особенности источников обломочного материала осадочных формаций девона и карбона в восточных зонах юга Урала // Геохимия. 2009. № 12. С. 1259–1278.
10. Маслов А. В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2005. 289 с.



11. Балашов Ю. А. Геохимия редкоземельных элементов. М. : Наука, 1976. 268 с.
12. Конторович А. Э., Еришов С. В., Казаненков В. А., Карагодин Ю. Н., Конторович В. А., Лебедева Н. К., Никитенко Б. Л., Попова Н. И., Шурыгин Б. Н. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде // Геология и геофизика. 2014. № 5–6. С. 745–776.
13. Найденов Л. Ф., Агалаков С. Е., Бакуев О. В. О геологическом строении и перспективах нефтегазоносности неокотских отложений Большехетской впадины и Мессояхского пояса мегавала // Нефтяное хозяйство. 2010. № 12. С. 83–85.

---

**Образец для цитирования:**

Титов Ю. В., Астаркин С. В., Гончаренко О. П., Колпаков В. В., Гудушкина О. В. Литогеохимическая характеристика терригенных пород сортымской свиты Пякяхинского месторождения (север Западной Сибири) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 54–61. DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-54-61.

**Cite this article as:**

Titov Y. V., Astarkin S. V., Goncharenko O. P., Kolpakov V. V., Guduchkina O. V. Lithochemical Properties of Terrigenous Rocks of Sortymsky Suite of Pyakyakhinskoye Field (North of Western Siberia). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2018, vol. 18, iss. 1, pp. 54–61 (in Russian). DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-54-61.

---