

## **ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ВЕРХОВ СРЕДНЕЙ – ВЕРХНЕЙ ЮРЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ АНАБАР**

*Алексей Юрьевич Попов*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии, тел. (383)330-85-57, e-mail: PopovAY@ipgg.sbras.ru

Даны петрографические и литохимические характеристики пород верхов средней – верхней юры нижнего течения реки Анабар. Прослежены закономерности изменения по разрезу содержания порообразующих окислов в алеврито-песчаных породах верхней части юрюнгтумусской и содыемихайнской свит и в алеврито-глинистых породах буолкалахской свиты. Отмечены петрографические и литохимические особенности специфических «мусорных» и фосфатизированных пластов.

**Ключевые слова:** петрография, литохимия, средняя-верхняя юра, Сибирская Арктика.

## **PETROGRAPHIC AND LITHOCHEMICAL FEATURES OF THE UPPER MIDDLE – UPPER JURASSIC OF THE LOWER REACHES OF THE ANABAR RIVER**

*Aleksey Yu. Popov*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher of the Laboratory of Sedimentology, phone: (383)330-85-57, e-mail: PopovAY@ipgg.sbras.ru

Petrographic and lithochemical characteristics of the upper middle – upper Jurassic of the lower reaches of the Anabar river are presented. Patterns of change in rock-forming oxides contents in silty-sandy rocks of the upper part Yuryungtumusskaya Fr., Sodyemikhainskaya Fr. and silty-clay rocks Buolkalahskaya Fr. are revealed. Petrographic and lithochemical features of specific "junk" and phosphorite layers are noted.

**Key words:** petrography, lithochemistry, middle-upper Jurassic, Siberian Arctic.

В рамках продолжающихся исследований мезозойских терригенных отложений арктических территорий Средней Сибири было проведено петрографическое и литохимическое изучение пород верхов средней – верхней юры нижнего течения реки Анабар. На схеме фациального районирования верхней части бата – верхней юры [7] территория настоящих исследований располагается в Паксинском фациальном районе Обь-Ленской фациальной области. Био- и литостратиграфическое расчленение толщи, обнажающейся в ряде разрезов на правом берегу реки Анабар, приводится по Б.Л. Никитенко с соавторами [73], с уточнениями [10].

Петрографические особенности пород средней-верхней юры севера Средней Сибири в целом и рассматриваемых разрезов в частности были изложены в ряде работ [1, 2, 3, 4, 5 и др.]. Представленные данные носят, как правило,

обобщенный характер. Некоторые литохимические характеристики средневерхнеюрских отложений низовьев р. Анабар даны в работе М.А. Левчука [5], однако рассматриваемый в настоящей работе стратиграфический интервал не был охарактеризован.

Изученные отложения представлены верхней частью юрiongтумусской (около 10 м), содыемихаинской (до 11 м) и буолкалахской (более 20 м) свитами. Первые две характеризуются существенно алеврито-песчаным составом. В юрiongтумусской свите присутствуют маломощные прослои микритовых, в разной степени алевритистых известняков, а в нижней части содыемихаинской свиты наблюдаются линзовидные гравийно-конгломератовые прослои. Особенностью последней является также присутствие прослоев, обогащенных железом- и фосфорсодержащими компонентами (сидеритовые конкреции, гетит-шамозитовые оолиты и бобовины, фосфатизированные обломки). Они развиты преимущественно в нижней части свиты, имеют линзовидное строение и представлены разнотельными глинисто-алевритисто-песчаными, «мусорными», породами. Основная часть буолкалахской свиты имеет существенно алеврито-глинистый состав. В ее основании регионально развит алеврито-песчаный пласт с фосфоритовыми конкрециями, несколько выше которого фиксируются до двух маломощных прослоев глинисто-карбонатной породы, обогащенной глауконит-шамозитовыми бобовинами и оолитами, фосфатизированными обломками.

Основная часть рассматриваемого разреза представлена слабосцементированными разностями, что затрудняет их исследование в шлифах, однако удалось изучить некоторые петрографические характеристики для наиболее литофицированных прослоев. В верхней части юрiongтумусской и содыемихаинской свитах преобладают пески и песчаники мелкозернистые, алевриты и алевролиты крупнозернистые песчаные. По своему составу они относятся преимущественно к литокластито-полевошпатово-кварцевому типу (по Ю.П. Казанскому [8]). В редких прослоях наблюдается увеличение количества полевых шпатов. В «мусорных» прослоях значительно повышается доля обломков пород. Для изученных отложений характерно преобладание калиевых разновидностей полевых шпатов, среди плагиоклазов распространены кислые разности. Обломки пород представлены преимущественно эффузивами кислого и среднего составов, присутствуют кремнистые и глинистые породы, отмечается достаточное количество хлоритизированных обломков, редкие обломки известняков. Присутствует слюда (в среднем 2-5 %), представленная биотитом, в меньшей степени мусковитом. Встречается обломочный хлорит.

В разной степени развит глинистый и карбонатный цемент. Основная часть толщи слабо сцементирована. Постоянно отмечается гумусовое и сапропелевое органическое вещество, доля которого составляет в среднем первые проценты. По растительным фрагментам и в виде мелких конкреционных образований развивается редкий пирит. Среди аксессуарных минералов, часто концентрирующихся послойно, преобладают циркон, минералы эпидот-цоизитовой группы, сфен. Реже встречаются роговая обманка, гранат, апатит.

Буолкалахская свита сложена преимущественно глинистыми алевролитами и алевритистыми глиноподобными аргиллитами, часто неравномерно переслаивающимися. Среди алевритовых разностей преобладают мелкозернистые. Широко развита слюда (5-10 %), представленная биотитом, реже мусковитом. По данным рентгеноструктурного анализа в глинистой составляющей преобладают хлорит и разупорядоченный смектит. Постоянно присутствует гумусовое и сапропелевое органическое вещество (около 5 %). Пирит редок. Среди акцессорных минералов резко преобладает циркон, встречаются минералы эпидотцоизитовой группы, сфен.

Для дополнительной характеристики слабо сцементированных пород и выяснения особенностей распределение в изученной толще породообразующих химических компонентов был выполнен анализ валового химического состава пород. Всего был проанализирован 31 образец алеврито-песчаных, алеврито-глинистых, терригенно-карбонатных пород и известняков. Средние значения их валового химического состава приведены в таблице. Разрез оказался крайне неоднороден по своим литохимическим характеристикам, что отражает изменчивость факторов седиментогенеза, обуславливающих минерально-петрографический состав пород.

#### Среднее содержание основных породообразующих окислов

Свита	Породы	Кол-во обр.	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (общее)	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
Б	10	2	43,91	0,44	10,87	3,52	0,60	1,25	17,94	2,46	2,06	0,17	0,11
	9	10	58,24	0,81	17,03	7,07	0,06	2,67	2,20	3,17	3,28	0,23	0,14
	8	3	47,86	1,30	16,76	17,04	0,05	3,17	1,16	1,12	2,74	0,20	0,06
	7	2	45,89	1,11	13,56	19,63	0,05	2,67	2,76	0,89	3,45	1,16	0,06
С	6	5	63,96	1,11	14,36	7,87	0,04	1,21	1,25	2,26	2,65	0,11	0,08
	5	2	54,68	1,28	14,73	15,85	0,06	2,07	1,16	1,78	2,15	0,16	0,07
	4	2	54,43	0,66	13,70	8,22	0,06	1,22	3,32	2,36	2,84	1,49	0,07
	3	1	43,01	0,59	7,09	21,20	0,03	0,49	0,79	3,13	1,48	0,12	0,05
Ю	2	3	61,49	0,60	14,29	5,43	0,07	1,26	2,15	3,12	3,71	0,19	0,09
	1	1	24,28	0,30	6,48	2,86	0,10	1,74	31,25	1,37	1,29	0,19	0,10

Свиты: Ю – юрiongтумуская, С – содыемихайнская, Б – буолкалахская; породы: 1 – известняк, 2 – алеврито-песчаные, 3 – конгломерат (матрикс), 4 – алеврито-песчаные базальные, 5 – «мусорные», 6 – алеврито-песчаные, 7 – фосфатизированные, 8 – алеврито-глинистые базальные, 9 – алеврито-глинистые, 10 – глинисто-алеvритовые.

Анализ полученных значений для алеврито-песчаных пород (17 образцов) позволил выявить ряд особенностей. Отложения верхней части юрiongтумусской свиты отличаются от алеврито-песчаных пород содыемихайнской свиты минимальными содержаниями TiO<sub>2</sub>, пониженными – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, максимальными – Na<sub>2</sub>O. Для базальных песчано-алеvритовых слоев содыемихайнской свиты ха-

рактарно несколько пониженное содержание  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , повышенное –  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ . В специфических «мусорных» прослоях свиты отмечаются относительно высокие содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , повышенные –  $\text{MgO}$ , пониженные –  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Для фосфатизированного пласта в основании буолкалахской свиты характерны максимальные содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , минимальные –  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ . Также были изучены два образца из алеврито-карбонатных прослоев верхней части буолкалахской свиты. По своим литохимическим характеристикам они в целом близки с основными алеврито-песчаными породами юрюнгтумусской и содыемихаинской свит, однако имеют некоторые отличия. В связи с интенсивной кальцитизацией для них характерны несколько пониженные долевые значения основных окислов (в особенности  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), а также высокие содержания  $\text{CaO}$  (15,98 и 19,89 %). Зафиксированы высокие содержания  $\text{MnO}$  (0,57 и 0,62 %), что может быть связано с накоплением  $\text{Mn}$  при смене аноксических условий более обогащенными кислородом.

Выполнено нормирование содержания основных окислов по средней мезокайнозойской граувакке К. Конди [15]. Основными отличиями изученных отложений от эталона являются в целом повышенные содержания в изученных породах  $\text{TiO}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и пониженные  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ . Проведена литохимическая классификация отложений. На классификационной диаграмме Ф.Дж. Петтиджона с соавторами [9] фигуративные точки состава преобладающих изученных алеврито-песчаных пород практически полностью сосредотачиваются в поле граувакк, что отражает их низкую седиментационную зрелость. На классификационной диаграмме М. Херрона [16] фигуративные точки также смещены в поля сланцев и вакк.

При проводимых литохимических исследованиях были использованы петрохимические модули (отношения основных петрогенных окислов), позволяющие, помимо химической классификации пород, получить представление об источниках сноса и физико-химических, геодинамических особенностях обстановок накопления осадков [12].

Для основных изученных алеврито-песчаных пород характерны выдержанные значения гидролизатного модуля (ГМ)  $[(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / \text{SiO}_2]$ , имеющего средние значения 0,36. По классификации Я.Э. Юдовича, М.П. Кетрис [12], с учетом содержания  $\text{MgO} < 3\%$ ,  $\text{ЖМ} < 0,75$ , породы относятся к типу сиаллитов пониженно- и нормально-гидролизатного класса. Значение модуля резко возрастает в «мусорных» пластах содыемихаинской свиты и базальном фосфатизированном пласте буолкалахской свиты, что, вероятно, обусловлено присутствием в них значительного количества железа в различной минеральной форме. В целом невысокие значения ГМ свидетельствуют об умеренной интенсивности химического выветривания, возрастающей в периоды формирования «мусорных» пластов.

Фемический модуль (ФМ)  $[(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2)]$  для юрюнгтумусской свиты составляет в среднем 0,1, для основной части пород содыемихаинской свиты – 0,15. Железный модуль ЖМ  $[(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / (\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)]$  для основной части алеврито-песчаных пород составляет в среднем 0,52 (не-

сколько понижен для юрiongтумусской свиты) – нормально-железистые породы. Повышенными значениями этих модулей ожидаемо характеризуются мусорные и фосфатизированные пласты, богатые железом.

Значения нормированной щелочности (НКМ)  $[(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3]$  несколько повышены для пород юрiongтумусской свиты (в среднем 0,46) и высокие для базального конгломерата содыемихайнской свиты (0,65), что, возможно, является следствием повышенной доли в них калиевых полевых шпатов. Преобладающие породы содыемихайнской свиты являются нормально-щелочными (в среднем 0,32).

Относительно невысокие значения титанового модуля ТМ ( $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) для пород содыемихайнской свиты (в среднем 0,08) и верхней части юрiongтумусской (0,04) позволяют предположить существенный вклад пород кислого магматического и метаморфического состава и незначительный более титанистых базитов. Это особенно показательно с учетом того, что осадки формировались в активной гидродинамической среде, для которой характерны повышенные значения модуля [6].

Для изученных алеврито-песчаных пород характерна не нарушенная положительная корреляция ТМ-ЖМ и отрицательная – НКМ-ГМ, что говорит о значительном содержании в них компонентов первого цикла седиментации [Юдович, Кетрис, 2000]. Данный факт позволяет использовать диаграммы, связанные с характеристиками пород в источниках сноса.

На генетической диаграмме F1-F2 [13, 14] и треугольной диаграмме  $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})-(\text{SiO}_2/20)-(\text{TiO}_2+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$  [17] фигуративные точки основных алеврито-песчаных пород сосредоточились в полях пассивных континентальных окраин, что указывает на отсутствие синседиментационных вулканических процессов. На диаграмме F3-F4 [13, 14], характеризующей основной состав материнских толщ в источниках сноса, фигуративные точки пород юрiongтумусской свиты попали в поле материала изверженных кислых пород, основная часть содыемихайнской свиты – в поле изверженных средних пород. Тем самым отмечается некоторое изменение в составе размываемых толщ.

Литохимические исследования алеврито-глинистых пород буолкалахской свиты (11 образцов) показали крайне выдержанные значения содержания в них породообразующих окислов, за исключением базальных слоев. Средние значения для  $\text{SiO}_2$  – 58,07 %,  $\text{TiO}_2$  – 0,81 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 17,08 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 7,16 %,  $\text{MnO}$  – 0,06 %,  $\text{MgO}$  – 2,68 %,  $\text{CaO}$  – 2,17 %,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 3,13 %,  $\text{K}_2\text{O}$  – 3,3 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,23 %,  $\text{BaO}$  – 0,14 %. Базальные алеврито-глинистые слои свиты имеют несколько иной химический состав, который характеризуется несколько большими содержаниями  $\text{TiO}_2$ , значительным увеличением доли  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , пониженным содержанием  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{BaO}$ . Этот уровень, несмотря на алеврито-глинистый состав, близок по своим литохимическим характеристикам к подстилающему фосфатизированному алеврито-песчаному горизонту. Выдержанные содержания основных породообразующих окислов в алеврито-глинистых породах буолкалахской свиты отражают стабильные условия в период ее формирования.

ГМ для основной части свиты имеет среднее значение 0,43, базальные слои характеризуются повышенными значениями (до 0,65-0,82). ФМ для основной части составляет 1,1, а для базальных слоев – 0,43. ЖМ для основной части составляет в среднем 0,4 (нормально-железистые породы), а в базальных слоях повышен до (0,83-1,07) – железистые породы. Нормированная щелочность (НКМ) имеет выдержанные значения (0,38) и снижается в базальных горизонтах (0,17 и 0,22). Показательны повышенные значения щелочного модуля ЩМ ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ), вероятно связанные с существенно монтмориллонитовым составом глинистого вещества, что подтверждается данными рентгеновской дифрактометрии. Значения ГМ крайне однородны для основной части (0,05) и повышены в базальных слоях (до 1). В целом относительно низкие значения модуля связаны, вероятно, с обеднением осадка титаном при транспортировке вглубь бассейна.

На классификационной диаграмме для глинистых пород НКМ-ФМ [12] фигуративные точки основной части образцов попадают в поле стандартных хлорит-сметтит-гидрослюдистых глин, а образцы базальных слоев – в поля преимущественно хлоритовых глин с примесью Fe-гидрослюд и хлорит-гидрослюдистых глин. На классификационной диаграмме  $\text{TiO}_2$ -ТМ [12] фигуративные точки очень плотно сосредоточились в пересечении полей гидрослюдистых и монтмориллонитовых глин.

Показатель интенсивности химического выветривания Несбитта-Янга [18] CIA относительно стабилен для всех изученных образцов (в среднем 73,6) и повышен для базальных слоев свиты (81,7). Подобные значения характерны для осадочных образований гумидных климатических обстановок с повышенной интенсивностью химического выветривания. На тройной диаграмме А.Б. Ронова, А.Б. Хлебниковой для классификации глинистых осадков [11] фигуративные точки буолкалахской свиты попадают в пересечение полей морских и лагунных отложений и континентальных отложений холодного и умеренно-холодного поясов.

Проведенные исследования позволили осветить основные петрографические особенности батско-волжской толщи низовья реки Анабар, дать ее подробную литохимическую характеристику и выявить ряд изменений в содержании пороодообразующих окислов по разрезу.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольберт А. В., Девятов В. П. К методике обработки и генетической интерпретации массовых данных гранулометрического анализа // Геология и нефтегазоносность мезозойских седиментационных бассейнов Сибири: сб. материалов. – Новосибирск: Наука.- 1983. – С. 77-83.
2. Каплан М. Е. Литология морских мезозойских отложений севера Восточной Сибири: монография. – Л.: Недра, 1976. – 229 с.
3. Каплан М. Е., Меледина С. В., Шурыгин Б. Н. Келловейские моря Северной Сибири (условия осадконакопления и существования фаций): монография. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1979. – 79 с.

4. Каплан М. Е., Ронкина З. З., Королева Р. В. Юрские терригенно-минералогические провинции севера Сибири // Геология и геофизика. – 1972. – №9. – С. 47-56.
5. Левчук М. А. Литология и перспективы нефтегазоносности юрских отложений Енисей-Хатангского прогиба: монография. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1985. – 166 с.
6. Мигдисов А. А. О соотношении титана и алюминия в осадочных породах // Геохимия. – 1960. – № 2. – С. 149-163.
7. Стратиграфия юры и мела Анабарского района (Арктическая Сибирь, побережье моря Лаптевых) и бореальный зональный стандарт / Б. Л. Никитенко, Б. Л. Шурыгин, В. Г. Князев, С. В. Меледина, О.С. Дзюба, Н.К. Лебедева, Е. Б. Пещевицкая, Л. А. Глинских, А. А. Горячева, С. Н. Хафаева // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 1047-1082.
8. Осадочные породы (классификация, характеристика, генезис) / Под ред. В. И. Бгатова: монография. – Новосибирск: Наука, 1987. – 214 с.
9. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники: монография. – М.: Мир, 1976. – 536 с.
10. Попов А. Ю., Никитенко Б. Л. Особенности литофациальной изменчивости верхней части юрjungтумусской и содыемихаинской свит (бат-оксфорд) нижнего течения реки Анабар // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – Т. 1. – С. 112-115.
11. Ронов А. Б., Хлебникова З. В. Химический состав важнейших генетических типов глин // Геохимия. – 1961. – № 6. – С. 449-469.
12. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии: монография. – СПб.: Наука, 2000. – 479 с.
13. Bhatia M. R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol. – 1983. – V. 91. – P. 611–627.
14. Bhatia M. R., Crook K. A. W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contrib. Mineral. Petrol. – 1986. – V. 92. – P. 181–193.
15. Condie K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. – 1993. – V. 104. – P. 1–37.
16. Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrol. – 1988. – V. 58. – P. 820–829.
17. Kroonenberg S. B. Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments // Proceedings of the 29-th International Geological Congress. – 1994. – Pt A. – P. 69–81.
18. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. – 1982. – V. 299. – P. 715–717.

© А. Ю. Попов, 2019