

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 550.4 (550.84.094.1)

И.В. Афонин, П.А. Тишин, Г.М. Татьянин, Д.А. Ивлев

ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ И РАСЧЛЕНЕНИЕ ВЕРХНЕСЕНОМАНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВАН-ЕГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки.

По результатам проведенного кластерного анализа данных гео- и петрохимических исследований получена характеристика основных неоднородностей осадка палеозойского бассейна и установлена их связь с вариациями pH и Eh режимов и литологическими особенностями пород, обусловленными их минералогическим составом. Выявлен ряд показателей, характеризующих цикличность осадочного процесса. Также рассмотрена и предложена методика корреляции терригенных толщ на основании поведения Mn, U и модуля нормативной щелочности в осадочном процессе.

Ключевые слова: кластерный анализ; эстуарий; петрогеохимические неоднородности; корреляция; Западная Сибирь.

Одной из ключевых задач, решаемых при изучении осадочных разрезов, являются их расчленение и корреляция. Наиболее успешно эти вопросы решаются методами биостратиграфии, в то же время достоверно решить поставленные задачи при отсутствии органических остатков удается не всегда. В качестве основных подходов расчленения и корреляции «немых толщ» используются методы геохимии, цикло- и хемотратиграфии [1–3]. При этом цикло- и хемотратиграфические подходы, несмотря на литологические ограничения, разработаны весьма детально и хорошо зарекомендовали себя на практике. Применение геохимических методов не имеет столь мощной методической базы и основывается либо на диагностике планетарных аномалий, таких как аномалия иридия на границе мела и палеогена [4], либо на диагностике вертикальных закономерностей вариаций состава осадочных пород. Последний подход может иметь важное значение при локальном сопоставлении осадочных разрезов на отдельных площадях или месторождениях, особенно в условиях повышенной фациальной изменчивости. В этой связи нами предпринята попытка корреляции элементов геохимической неоднородности осадков разных частей разреза верхов покурской свиты ($K_2\sigma_2$) в пределах Ван-Еганской структуры (Западная Сибирь).

Строение разреза. В административном отношении Ван-Еганское месторождение входит в состав Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа. Исследуемый район приурочен к Ваньеганской структуре, расположенной в южной части Варьеганского малого вала, осложняющего Варьеганский крупный вал. Варьеганский крупный вал входит в систему Варьеганско-Пурпейской антиклинальной зоны линейных структур, являющейся частью Ямало-Тазовской мегасинеклизы. Варьеганский малый вал осложнен рядом структур II и III порядков, к которым относится Ваньеганская структура, имеющая субмеридиональное простирание и по юрским отложениям осложненная рядом небольших куполов. Характерно наличие разрывных нарушений, преимущественно меридионального направления. При этом

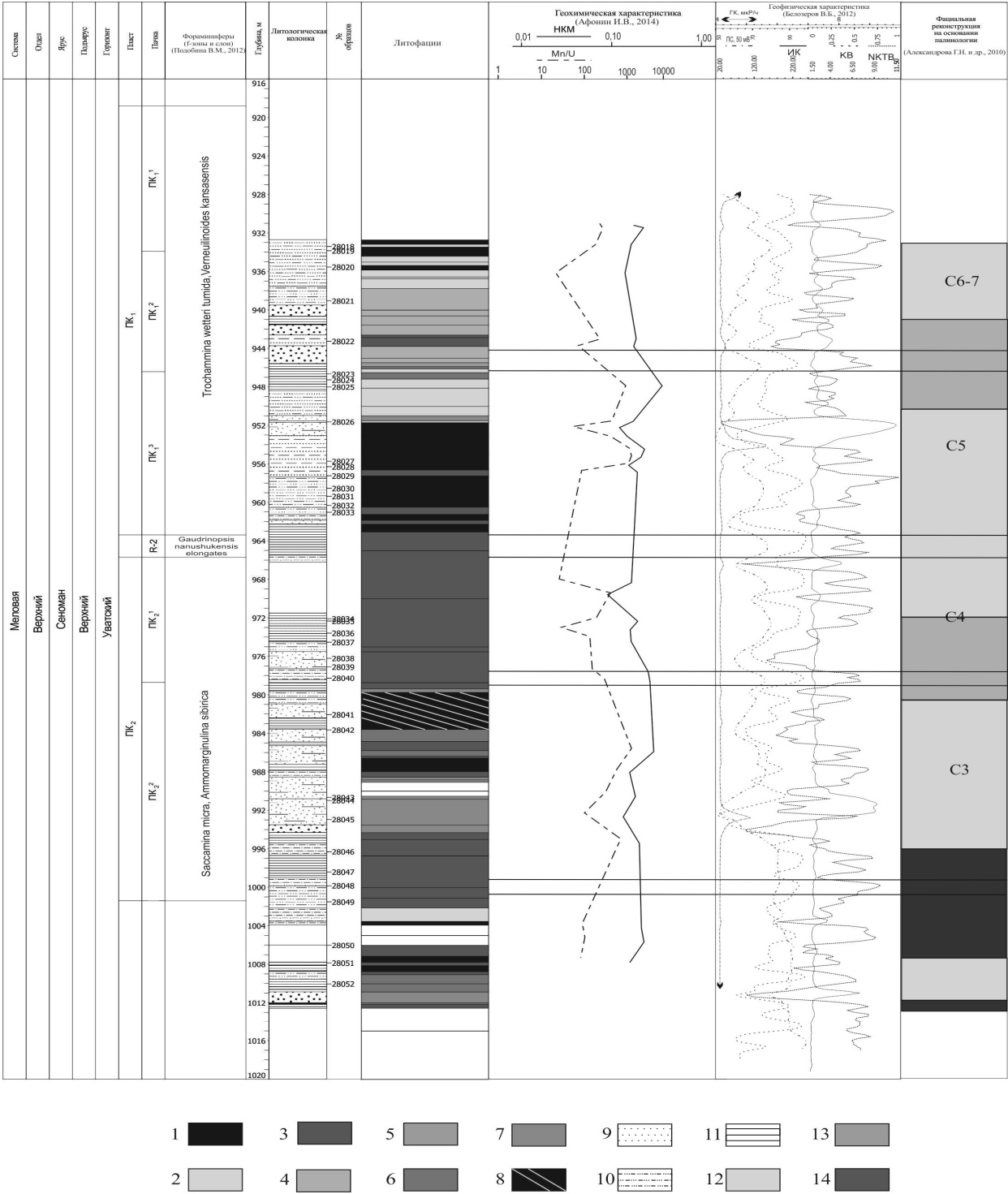
следует отметить, что Варьеганский крупный вал имеет наследуемый характер структуры фундамента. Варьеганский малый вал охарактеризован как поднятие, обусловленное тектонической активизацией каледонского цикла тектогенеза. Ваньеганская является по своей природе конседиментационной структурой антиклинального типа.

Литологически группа пластов PK_{1-2} представлена неравномерным переслаиванием песков, слабосцементированных песчаников, глин алевроитистых до алевроитовых, глинистых известняков. В нижней части – крепкосцементированные песчаные породы, аргиллиты. Для верхов покурской свиты характерен обильный растительный детрит, обугленные обрывки растений, включения и присыпки пирита, конкреции сидерита [5]. Разрез характеризуется сильной вертикальной и фациальной изменчивостью, что значительно затрудняет расчленение разреза и локальную корреляцию разрезов скважин.

Тем не менее на основании микропалеонтологических исследований, проведенных В.М. Подобиной [6], в пределах изученного разреза были выделены три зоны фораминифер: *Saccamina micra*, *Ammomarginulina sibirica*, *Gaudryinopsis nanushukensis elongates* и *Trochammina wetteri tumida*, *Verneuilinoides kansasensis* [6, 7]. Характер их распределения позволяет разделить разрез на два основных пласта, граница между которыми подчеркивается маломощным (1–7 м), латерально выдержанным алевролитовым горизонтом со специфическим биостратиграфическим комплексом *Gaudryinopsis nanushukensis elongates* (рис. 1). Ранее на этой площади в составе покурской и кузнецовской свит методами палинологических и циклостратиграфических исследований было установлено 8 трансгрессивных макроциклитов C1–C8 [5], где циклиты C1–C2 соответствуют нижней, циклиты C3–C7 – верхней частям покурской свиты, а циклит C8 охватывает разрез кузнецовской свиты (рис. 1). Сопоставление полученных данных с результатами В.М. Подобиной позволяет сопоставлять мегациклиты C3–C4 с зоной *Saccamina micra*, *Ammomarginulina sibirica*, а макроциклиты C5–C7 – с зоной

Trochammina wetteri tumida, *Verneulinoides kansasensis*. Позднее В.Б. Белозеровым на основании комплекса данных ГИС были установлены выдержанные по латерали реперные литологические единицы, сложенные, существенно, глинистыми породами, разделяющими разрез верхней части покурской свиты на пять пачек, соответствующих мега-

циклитам С3–С7 (рис. 1). Таким образом, независимое применение палеонтологических, палинологических, литологических и литолого-фациальных подходов к расчленению разреза демонстрирует его цикличное строение, проявленное на фоне общего трансгрессивного режима в прибрежных условиях [5, 7].



Условные обозначения: литофации: 1 – алеврито-глинистые и карбонатные осадки малоподвижного мелководья; 2 – глинисто-алевритовые осадки приливно-отливной зоны; 3 – песчано-алевритовые осадки малоподвижного мелководья; 4 – песчаные отложения приливных каналов; 5 – песчано-алевритовые осадки прибрежных частей залива; 6 – алеврито-глинистые и карбонатные осадки центральных частей заливов и лагун; 7 – глинисто-алевритовые осадки изолированных частей заливов и лагун; 8 – чередование 1 и 3; литология: 9 – песчаник; 10 – алевролиты; 11 – глины (аргиллиты); палинофации: 12 – маршево-болотные; 13 – прибрежно-морские; 14 – области сильных течений

Рис. 1. Сводный разрез верхнесеноманских отложений покурской свиты (ПК₁₋₂), скважина № 2010

Высокая достоверность расчленения и корреляции разреза верхней части покурской свиты в пределах Ван-Еганской структуры делают данный комплекс очень благоприятным объектом для адаптации нетрадиционных подходов к решению задач дифференциации осадочных толщ. В этой связи нами предприняты попытка выявления вертикальной вещественной неоднородности данного разреза и оценка возможностей петрогеохимических методов для локальной корреляции осадочных разрезов.

Методика исследований и полученные результаты. В основу работы были положены 124 определения содержаний петрогенных оксидов и микроэлементного состава методами рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Исследования проводились в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ. Рентгенофлуоресцентный анализ проводился на приборе OXFORD ED 2000 – энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр фирмы «OXFORD Instruments Analytical». В качестве внутренних и корректирующих стандартов были использованы BCR-2, СГХМ-1, СГ-3, ССЛ-1. Масс-спектральное определение содержания элементов в анализируемых образцах проводилось на аппарате Agilent 7500cx, Agilent Technologies. Съемка осуществлялась по оригинальной методике Ю.В. Аношкиной [8]. Качество полученных результатов оценивалось на основании стандартов BCR-2, СГХМ-1, СГ-3, ССЛ-1.

Полученные результаты были обработаны в программе Statistica 6.0, в результате чего были выделены наиболее дискретные показатели, определяющие петрогеохимическую неоднородность разреза.

Результаты. На основании классификации, предложенной Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис [1], массив пород разделяется на сииалиты и их железистые аналоги, карбонатолиты и карбонатные образования, которые отличаются друг от друга по содержанию SiO_2 , CaO и Fe_2O_3 . Микроэлементный состав соответствует типичным осадочным породам. Исследуемые осадки характеризуются высокой вариативностью Sr/Ba и Mn/U , которые увеличиваются в ряду песчаники – алевролиты – карбонатно-глинистые образования [9–11]. В целом по разрезам отсутствуют ярко выраженные признаки латеральной и вертикальной изменчивости осадков. Для их диагностики был проведен кластерный анализ, позволивший обнаружить определенные закономерности.

Анализ исследуемой выборки по содержанию кремнезема позволяет выделить четыре кластера (табл. 1): 1) аномально низкокремнистый ($\text{SiO}_2 = 1\text{--}41\%$); 2) низкокремнистый ($\text{SiO}_2 = 42\text{--}54\%$); 3) умереннокремнистый ($\text{SiO}_2 = 53\text{--}62\%$); 4) высококремнистый ($\text{SiO}_2 = 63,2\text{--}74,9\%$), которые объединяют основные петрографические разновидности и в целом отражают литологическую типизацию разреза.

Аномально низкокремнистые породы (петрохимический кластер – П-I) объединяют 7 проб, представленные карбонатолитами и карбонатизированными породами (табл. 1). Помимо низких содержаний кремниевой кислоты они отличаются высокими концентрациями оксида кальция ($\text{CaO} = 15,6\text{--}36,6\%$).

Низкокремнистые образования (П-II) представляют собой ожелезненные ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4\text{--}21\%$), отчасти сидеритизированные тонкодисперсные осадки (5 проб).

Высококремнистые образования (П-IV), объединяющие 12 проб, представлены наиболее зрелыми образованиями – кварцевыми алевролитами с высоким содержанием глинистой составляющей ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 15,1\text{--}22,1\%$).

Основной объем выборки (99 проб) приходится на группу умереннокремнистых пород (П-III), которая включает большинство аргиллитов и алевролитов изученного разреза. При этом характер распределения глинозема и железа в составе выборки предполагает ее разделение на четыре субкластера: П-IIIa – высокоглиноземистый маложелезистый, П-IIIb – глиноземистый маложелезистый, П-IIIc – высокоглиноземистый железистый, П-IIId – глиноземистый железистый.

Аналогичное ранжирование выборки было проведено по основным геохимическим параметрам (Sr/Ba , Ce/Ce^* , Eu/Eu^* , La/Yb , U/Th , Fe/Mn , Mn/U , Ti/Zr , ΣTR , $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$), отражающим фациально-генетические характеристики осадков [12–18]. В результате на уровне 80–100% обособляются четыре кластера, где в качестве наиболее значимого критерия выступает Mn/U , при этом выделяются: 1) аномально высокомарганцевые ($\text{Mn/U} = 960\text{--}2217$); 2) высокомарганцевые ($\text{Mn/U} = 370\text{--}595$); 3) умеренномарганцевые ($\text{Mn/U} = 77\text{--}312$); 4) низкомарганцевые ($\text{Mn/U} = 17\text{--}180$) породы. Помимо этого в умеренно- и низкомарганцевых породах устанавливается более дробная дискриминация по общему содержанию редких земель – ΣTR (табл. 2).

Первый геохимический кластер (Г-I) с аномально высоким содержанием марганца ($\text{Mn} = 1079\text{--}4236$ г/т) объединяет 7 проб карбонатолитов и карбонатизированных пород и осадки, обогащенные фосфором.

Второй кластер (Г-II) представляет собой высокомарганцевые образования (14 проб) и включает в себя интенсивно сидеритизированные глинистые породы.

Половина выборки (56 проб) приходится на третий кластер (Г-III), который составляют глинисто-алевритистые осадки со слабо проявленной сидеритизацией. Внутри данной группы фиксируется дискриминация по величине Fe/Mn отношения и сумме редкоземельных элементов (ΣTR). При этом значения Fe/Mn разделяют осадки сидеритизированные в прибрежных (подкластеры Г-IIIa и Г-IIIb) и в морских (подкластеры Г-IIIc и Г-IIId) условиях. Уровень накопления лантаноидов отражает степень механической дифференциации терригенного материала и разделяет алевролиты (подкластеры Г-IIIa и Г-IIId) и аргиллиты (подкластеры Г-IIIb и Г-IIIc).

Четвертый кластер (Г-IV) объединяет 36 проб пород, не подверженных карбонатизации, и характеризуется низким уровнем накопления марганца ($\text{Mn} = 32\text{--}250$ г/т; $\text{Mn/U} = 17\text{--}180$). Здесь, как и в предыдущем случае, устанавливается внутренняя дискриминация по общему содержанию редкоземельных элементов (табл. 2) на умеренно- (Г-IVa) и высокоредкоземельные (Г-IVb).

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что основная петрогеохимическая неоднородность изученного разреза определяется характером распределения SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Mn/U , Fe/Mn и ΣTR (см. табл. 3).

Результаты кластерного анализа по петрогенным оксидам

Кластер	№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП
П-I	7	1,00-41,30	0,19-17,43	4,62-11,79	1,00-12,57	0,10-4,06	15,63-36,59	0,11-17,58	0,20-1,42	0,22-2,11	0,07-11,11	9,50-28,70
		24,27(27,91)	2,92(0,63)	8,03(6,84)	5,45(4,74)	2,42(2,42)	29,80(32,63)	2,64(0,16)	0,54(0,36)	1,41(1,58)	2,43(0,37)	19,79(19,14)
П-II	6	46,24-54,10	0,69-1,32	15,65-18,56	4,11-20,74	0,11-2,77	0,21-2,12	0,04-0,27	0,81-2,45	1,60-2,28	0,02-1,65	9,33-24,50
		61,16(61,64)	0,98(0,88)	17,80(18,37)	6,83(4,11)	0,52(0,34)	0,55(0,25)	0,09(0,05)	1,35(1,30)	1,72(1,92)	0,22(0,03)	9,11(6,95)
П-III	99	53,47-62,09	0,71-2,27	17,94-25,57	2,93-9,99	0,07-2,08	0,08-1,31	0,01-0,42	0,22-2,79	0,93-3,86	0,01-0,24	5,43-10,72
П-IV	12	58,32(58,58)	1,10(0,87)	20,89(20,44)	6,44(6,28)	0,80(0,55)	0,51(0,47)	0,11(0,07)	1,51(1,62)	2,26(2,39)	0,07(0,06)	7,97(8,06)
		63,15-74,87	0,68-1,82	15,11-22,12	1,96-7,96	0,12-0,49	0,06-0,46	0,01-0,24	0,60-1,71	0,41-2,64	0,01-0,09	4,37-8,03
Субкластер		66,37(64,73)	0,90(0,83)	18,39(18,9)	4,02(3,86)	0,34(0,36)	0,25(0,22)	0,05(0,03)	1,30(1,25)	1,92(2,14)	0,03(0,03)	5,97(5,97)
П-IIIa	22	58,04-62,09	0,71-1,95	20,15-25,57	2,93-5,55	0,07-1,18	0,08-0,49	0,01-0,17	0,22-2,08	1,01-2,40	0,01-0,05	6,31-10,72
		60,62(60,94)	0,91(0,84)	22,32(22,16)	4,30(4,30)	0,41(0,27)	0,25(0,24)	0,04(0,02)	1,22(1,17)	1,83(1,95)	0,03(0,03)	7,94(7,84)
П-IIIb	26	59,34-61,91	0,72-1,13	18,61-21,77	5,00-7,73	0,22-1,79	0,18-0,72	0,03-0,12	1,16-2,18	1,92-2,85	0,03-0,10	5,43-8,28
		60,18(59,95)	0,85(0,81)	20,15(20,08)	6,22(6,20)	0,64(0,58)	0,42(0,44)	0,06(0,06)	1,62(1,61)	2,39(2,40)	0,06(0,06)	6,92(6,95)
П-IIIc	19	53,47-58,81	0,71-2,27	19,56-23,13	5,47-7,18	0,07-2,08	0,18-0,89	0,01-0,42	0,03-0,42	0,93-3,21	0,02-0,12	5,70-10,16
		57,00(57,16)	0,98(0,90)	21,40(21,11)	6,26(6,33)	0,74(0,52)	0,51(0,47)	0,50(0,51)	0,11(0,08)	2,43(2,48)	0,06(0,06)	8,53(8,53)
П-IIId	34	53,80-58,36	0,80-1,36	17,94-20,72	7,13-9,99	0,16-2,04	0,06-0,46	0,19-1,31	0,06-0,21	1,58-3,86	0,05-0,24	7,20-10,26
		55,96(56,01)	1,05(1,03)	19,71(19,84)	8,51(8,60)	0,68(0,59)	0,25(0,22)	0,80(0,83)	0,14(0,14)	2,58(2,53)	0,11(0,11)	8,45(8,30)

Примечание. Здесь и далее в числителе указаны min/max; в знаменателе – среднее (медиана).

Результаты кластерного анализа по основным геохимическим индикаторам

Кластер	№	TR	Ce/Ce*	Eu/Eu*	La/Yb	Sr/Ba	U/Th	Fe/Mn	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	Mn/U	Ti/Zr
Г-I	4	63,59-174,12	0,99-1,45	0,61-0,72	7,61-11,24	0,25-0,64	0,23-0,70	5,08-41,91	2,23-8,40	959,91-2216,70	36,24-44,65
		117,03 (115,21)	1,16 (1,10)	0,66 (0,66)	9,65 (9,89)	0,40(0,37)	0,36(0,27)	20,29(17,07)	5,83(6,34)	1379,37(1170,43)	39,41(38,36)
Г-II	11	63,15-178,83	0,85-1,74	0,62-0,72	7,09-14,00	0,19-0,50	0,25-0,63	17,90-46,47	4,64-14,02	371,27-595,41	32,51-54,82
		108,97 (96,50)	1,20 (1,17)	0,67(0,66)	10,26(10,13)	0,33(0,33)	0,38(0,35)	31,50(28,96)	7,85(8,07)	471,14(438,61)	42,61(40,52)
Г-III	56	58,45-205,47	0,90-1,97	0,56-0,79	7,98-17,72	0,13-0,64	0,23-0,70	15,29-97,87	5,46-19,82	77,80-311,77	32,94-54,82
		154,65(164,64)	1,12(1,08)	0,69(0,69)	12,74(12,74)	0,30(0,29)	0,37(0,35)	41,96(37,31)	8,57(8,14)	184,40(167,92)	41,42(40,53)
Г-IV	47	34,65-325,91	0,89-1,50	0,54-0,80	7,08-20,51	0,12-0,71	0,21-0,79	39,67-168,40	4,79-36,60	16,95-180,00	31,70-56,23
		143,16(137,33)	1,13(1,11)	0,70(0,70)	12,85(12,46)	0,34(0,32)	0,38(0,35)	94,51(94,02)	61,75(60,19)	61,57(60,19)	42,32(41,97)
Субкластер											
Г-IIIa	9	58,45-106,27	1,00-1,51	0,56-0,75	8,94-17,72	0,20-0,64	0,28-0,68	21,31-97,87	8,02-19,82	107,95-137,92	32,94-45,63
		89,81(98,38)	1,18(1,18)	0,67(0,66)	12,13(11,37)	0,36(0,32)	0,41(0,36)	54,30(52,26)	11,84(10,60)	124,59(126,46)	40,26(40,62)
Г-IIIb	15	164,67-205,47	1,00-1,24	0,62-0,74	10,00-16,24	0,15-0,38	0,23-0,41	37,67-79,20	5,64-19,82	77,80-158,16	32,94-54,82
		187,97(189,15)	1,10(1,09)	0,69(0,68)	11,37(13,85)	0,30(0,30)	0,35(0,35)	54,31(54,31)	10,32(9,92)	115,84(124,98)	41,08(40,50)
Г-IIIc	12	152,69-198,02	0,90-1,15	0,65-0,79	11,47-14,16	0,24-0,38	0,29-0,37	25,61-49,42	5,96-10,98	133,69-227,46	35,96-51,52
		177,06(180,47)	1,06(1,08)	0,70(0,70)	12,91(12,90)	0,30(0,30)	0,34(0,35)	36,70(36,71)	8,27(8,20)	180,69(179,89)	42,34(41,12)
Г-IIId	20	73,51-167,12	0,90-1,97	0,62-0,78	7,98-15,09	0,13-0,43	0,28-0,70	15,29-35,54	5,46-12,62	218,09-311,77	33,89-52,99
		136,89(142,89)	1,15(1,07)	0,69(0,69)	12,08(12,35)	0,26(0,28)	0,39(0,34)	30,30(31,03)	7,11(6,83)	265,28(269,67)	41,03(40,17)
Субкластер											
Г-IVa	7	209,45-325,91	0,96-1,40	0,66-0,78	11,57-20,51	0,13-0,51	0,21-0,55	45,22-142,52	4,79-21,16	21,51-180,0	37,06-50,82
		256,22(228,30)	1,19(1,09)	0,71(0,70)	16,04(15,20)	0,28(0,23)	0,41(0,41)	97,14(99,34)	12,52(13,68)	62,55(40,97)	41,71(39,61)
Г-IVb	40	34,65-185,74	0,89-1,50	0,54-0,80	7,08-18,33	0,12-0,71	0,12-0,79	39,67-168,40	7,77-36,60	16,95-101,02	31,70-56,23
		122,87(126,20)	1,12(1,11)	0,70(0,70)	12,28(12,01)	0,35(0,35)	0,38(0,35)	94,03(93,96)	14,15(12,05)	61,40(62,54)	42,43(42,08)

При этом если показатели SiO_2 , Al_2O_3 и ΣTR отражают механическую дифференциацию обломочного материала, то Fe_2O_3 и Mn/U фиксируют интенсивность син- и эпигенетической карбонатизации, а увязывающее их отношение Fe/Mn можно рассматривать как фациальную функцию [11, 17, 18]. В качестве аналогичного критерия для терригенной составляющей можно рассматривать модуль нормативной ще-

лочности (НКМ), который разделяет минеральные ассоциации глин по составу и условиям образования [1]. Таким образом, вышеперечисленные характеристики отражают степень зрелости осадков, характер наложенных преобразований и, как следствие, физико-химические (pH-Eh) условия седиментации и могут быть использованы для целей расчленения и корреляции разрезов.

Таблица 3

Основные статистические показатели главных индикаторов, описывающих петрогеохимические неоднородности верхнесеноманских отложений Ванеганской структуры (группа пластов ПК₁₋₂)

Показатель	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	НКМ	Mn/U	ΣTR	Fe/Mn
Min	1,00	4,62	1,00	0,07	16,95	34,65	0,03
Max	74,87	25,57	20,74	0,42	5045,10	325,91	168,40
Среднее	56,81	19,42	6,50	0,24	282,01	143,71	57,76
Медиана	58,32	20,06	6,25	0,22	131,74	144,58	47,42

Характер распределения основных петро- и геохимических индикаторов в изученных разрезах демонстрирует полициклический характер их изменения. Наиболее наглядно это проявлено в распределении Mn/U (рис. 2), резкие повышения значений которого контролируют границы литогеохимических циклов разного порядка. Учитывая, что во многом вариации данного отношения могут определяться эпигенетическими преобразованиями, для более четкой идентификации циклов наряду с ним был использован НКМ. Вертикальная изменчивость чис-

ленных значений данных показателей в колонке исследуемых скважин позволяет установить следующую последовательность геохимического расчленения разрезов. На первой стадии предполагается выделение первичных геохимических циклов по резкой смене направленности изменений в паре соседних образцов. Второй этап предусматривает выделение более мегациклических ассоциаций, объединяющих несколько циклов первого порядка и обладающих единой тенденцией вариативности геохимических параметров (рис. 2).

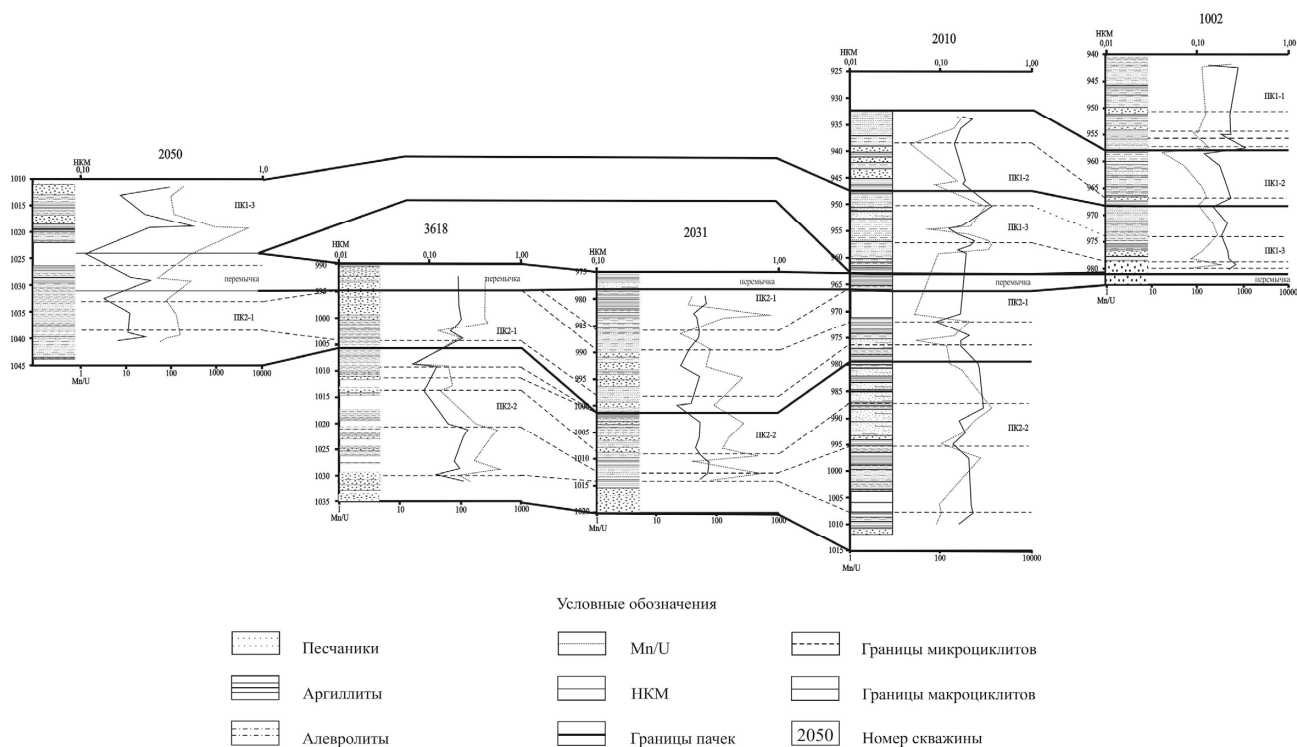


Рис. 2. Петрогеохимическая корреляция исследуемого фрагмента верхнесеноманских отложений покурской свиты Ван-Еганского месторождения

Основной проблемой данного подхода при расчленении разреза является корректность выделения полициклических таксонов, которые могут носить двойственный характер. Для разрешения этих противоречий предполагается использовать статистические характеристики применяемых генетических критери-

ев. В качестве таких функций рассматриваются медианы по всей изученной выборке, для НКМ она составляет 0,22, а для Mn/U – 131. При этом медианное значение НКМ приближается к генетической границе перехода от монтмориллонит-каолинитовой к иллит-монтмориллонитовой ассоциации ~ 0,2 [1], следова-

тельно, данный показатель можно рассматривать как индикатор изменения прибрежно-морской ($<0,2$) обстановки осадконакопления на морскую ($>0,22$). По аналогии с этим показателем предполагается разграничить значения Mn/U, учитывая, что основные концентрации марганца связываются с процессами карбонатизации [19]. В качестве генетической нагрузки данного отношения рассматривается активность CO_2 .

Применение данного подхода к диагностике разреза скважины № 2010, наиболее полно охарактеризованной керном верхней части покурской свиты в пределах Ван-Еганской структуры, подчеркивает резкую геохимическую контрастность границы между фораминиферовыми зонами *Saccamina micra*, *Ammomarginulina sibirica* и *Trochammina wetteri tumida*, *Verneulinoides kansasensis* [5–7] и указывает на циклическую неоднородность их строения (см. рис. 1). При этом в пределах изученного разреза выделяется пять литогеохимических мегациклов, объем которых в целом совпадает с мегациклитами С3–С7, выделенными Г.Н. Александровой и др., а их границы соответствуют положению реперных литологических единиц по В.Б. Белозерову.

Общая направленность изменчивости состава пород в пределах циклов, вне зависимости от литологического состава пород, фиксируется в поступательном увеличении вверх по разрезу значений Mn/U как показателя активности CO_2 (см. рис. 1). При этом аномальные характеристики подчеркивают границы циклов. Согласно данным вариациям в пределах мегациклов изменяются и значения НКМ, подчеркивая трансгрессивный режим седиментации. Определенные закономерности устанавливаются и при распределении в пределах циклов выделенных петро- и геохимических кластеров. Как правило, в их основании преобладают высококремнистые мало-железистые породы (кластеры П-IV, П-IIIb, реже П-IIIa) с низкими значениями Mn/U и уровнем накопления редких земель (кластеры Г-IVa, Г-IIIa, реже Г-IVb). Вверх по разрезу устанавливается их обогащение железом (П-IIIc, П-IIId, реже П-IIIa) на фоне роста Mn/U и уровня накопления лантаноидов (Г-IIIb, Г-IIIc, Г-IIId, реже Г-IVa).

Кровли циклов, как правило, представлены карбонатолитами и сидеритизированными аргиллитами (П-I, П-II, П-IIIc) с аномально высокими значениями Mn/U (Г-I, Г-II, Г-IIIc). Указанная последовательность предполагает, что формирование разреза обусловлено циклическими изменениями геохимического режима седиментации, выраженного в увеличении активности железа, марганца и углекислоты. Подобные вариации предполагают формирование циклов в условиях поступательной смены береговой, прибрежной и морской седиментации либо снижение гидродинамической активности в пределах прибрежно-морского бас-

сейна. Последний вариант подтверждается проявлениями аномальной карбонатизации в кровлях циклов.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы.

Проведенные исследования показали, что в пределах Ван-Еганской структуры вертикальная геохимическая неоднородность разреза верхней части покурской свиты выражается в полициклических изменениях уровня концентраций марганца, кремния, железа, кальция, алюминия и редкоземельных элементов, которые отражают вариативность физико-химических параметров, механизмов осадконакопления и, в меньшей степени, источников осадочного материала.

Границы между геохимическими циклами высоких порядков подчеркиваются аномально высокими значениями (> 370) отношения Mn/U и усилением степени карбонатизации пород, что может быть связано с резкими изменениями солёности бассейна на фоне снижения гидродинамической активности.

Структура макроциклитов подчеркивается наличием в основании высококремнистых осадков с глинистой составляющей монтмориллонит-каолинитового состава (НКМ $< 0,2$), которые вверх по разрезу сменяются более железистыми иллит-монтмориллонитовыми (НКМ $> 0,22$) породами и отражают усиление роли морского режима седиментации. Сопряженное с этим возрастание концентраций редкоземельных элементов подчеркивает усиление роли хемогенного осадконакопления, за счет коагуляции коллоидных форм лантаноидов.

В качестве основного геохимического отличия осадков фораминиферовой зоны *Saccamina micra*, *Ammomarginulina sibirica* от зоны *Trochammina wetteri tumida*, *Verneulinoides kansasensis* является относительная обогащенность последней глиноземом. Учитывая согласные изменения Al_2O_3 и Fe_2O_3 , в геохимических циклах пласта *Trochammina wetteri tumida*, *Verneulinoides kansasensis*, можно предполагать вовлечение в процесс осадконакопления переотложенных, интенсивно замещенных обломков полевых шпатов.

Соответствие выявленных границ геохимических циклов первого порядка с границами ранее установленных элементов разреза (Г.Н. Александрова, В.Б. Белозеров, В.М. Подобина) указывает на достоверность предложенной схемы геохимического расчленения разрезов. Обнаруженные закономерности вертикальных вариаций состава осадочных пород, связанные с генетическими параметрами седиментации, расширяют возможности геохимических методов при локальной корреляции литологических последовательностей. При этом следует подчеркнуть, что применение индикаторных отношений носит сугубо индивидуальный характер и должно корректироваться в каждом конкретном случае.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
2. Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 289 с.
3. Карогодин Ю.Н. Седиментационная цикличность. М.: Недра, 1980. 242 с.
4. Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F. et al. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction // Science. 1980. Vol. 208. P. 1095–1108.
5. Александрова Г.Н., Космыгин В.А., Постников А.В. Стратиграфия и условия седиментации меловых отложений южной части Варьганского мегавала (Западная Сибирь) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. Т. 18, № 4. С. 65–91.
6. Подобина В.М. Новые сведения по фораминиферам и биостратиграфии верхнего сеномана северного района // Вестник Томского государственного университета. 2012. Т. 361, № 6. С. 182–187.

7. Подобина В.М. Фораминиферы и биостратиграфия верхнего мела Западной Сибири. Томск : Изд-во НТЛ, 2000. 388 с.
8. Аношкина Ю.В., Асочакова Е.М., Бухарова О.В., Отмахов В.И., Тишин П.А. Оптимизация условий пробоподготовки углеродистых геологических проб для последующего анализа методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Аналитика и контроль. 2013. Т. 17, № 1. С. 47–58.
9. Интерпретация геохимических данных / под ред. Е.В. Склярова. М. : Интермет Инжиниринг, 2001. Т. 1. 288 с.
10. Которович А.Э., Берман Е.Л., Богородская Л.И. и др. Геохимия юрских и нижнемеловых отложений Западно-Сибирской низменности. М. : Недра, 1971. Вып. 36. 251 с. (Тр. СНИИГТимС).
11. Мейнард Дж. Геохимия осадочных рудных месторождений : пер. с англ. М. : Мир, 1985. 360 с.
12. Тейлор С.Р., Мак-Ленан С.М. Континентальная кора: её состав и эволюция. М., 1984. 384 с.
13. Яночкина З.А. Статистические методы изучения пестроцветов. М. : Недра, 1966. 142 с.
14. Calvert S.E., Price N.B. Composition of manganese nodules and manganese carbonates from Loch Fyne, Scotland // Contr. Mineral. Petrology. 1970. Vol. 29. P. 215–233.
15. Dalrymple R.W. Incised Valleys in time and space: an introduction to the volume and an examination of the controls on valley formation and filling in incised valleys in time and space // Incised Valleys in Time and Space, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication / eds. by R.W. Dalrymple, D.A. Leckie, R.W. Tillman. Tulsa, USA, 2006. Vol. 85. P. 5–12.
16. Langmuir D. Particle size effect on the reaction goethite=hematite+water // American Journal of Science. 1971. Vol. 271. P. 147–156.
17. Murray R.W., Buchholtz ten Brink M.R., Jones D.L. et al. Rare earths elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale // Geology. 1990. Vol. 18. P. 268–271.
18. Murray R.W., Buchholtz ten Brink M.R., Brumsack H.J. et al. Rare earth elements in Japan Sea sediments and diagenetic behaviour of Ce/Ce*: results from ODP Leg 127 // Geochim Cosmochim Acta. 1991. Vol. 55. P. 2453–2466.
19. Afonin I.V., Tatyaniy G.M., Tishin P.A. Geochemistry of ancient estuarine deposits on the example of pokurskaya suit sediments (West Siberia) // Goldschmidt conference. 2013. Vol. 77 (5). P. 559.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 31 июля 2014 г.

GEOCHEMICAL HETEROGENEITY AND DISMEMBERMENT OF UPPER CENOMANIAN SEDIMENTS VAN-YOGAN FIELD (WESTERN SIBERIA)

Tomsk State University Journal. No. 387 (2014), 217–224. DOI: 10.17223/15617793/387/33

Afonin Igor V. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: heaven05@list.ru

Tishin Platon A. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: labspm@ggf.tsu.ru

Tatyaniy Gennadiy M. Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: gmt@mail.ru

Ivlev Dmitriy A. TNK-BP management (Tyumen, Russian Federation). E-mail: heaven05@list.ru

Keywords: cluster analysis; estuary; petrogeochemical heterogeneity; correlation; Western Siberia.

In this paper, the technique of analysis to establish litho-geochemical vertical heterogeneity of the sedimentary section is shown and a plan based on the correlation of strata petrogeochemical indicators is proposed. Studies have shown that within the framework of Van-Yogan vertical geochemical heterogeneity of the top of the Pokursky suite is expressed in polycyclic changes in the level of concentrations of manganese, silicon, iron, calcium, aluminum and rare earth elements which reflect the variability of the physico-chemical parameters, mechanisms of sedimentation and, to a lesser extent, sediment sources. The boundaries between the geochemical cycles of high-order have anomalously high values (> 370) of the Mn/U ratio and greater rock carbonation, which is associated with abrupt changes in the salinity of the basin due to lower hydrodynamic activity. The geochemical structure of macro-cyclites emphasizes the presence in the base of high-silicon sediments with the clay content of montmorillonite-kaolinite ($NKM < 0.2$) which are replaced upsection by more glandular illite-montmorillonite ($NKM > 0.22$) rocks and reflect enhancement of marine sedimentation regime. Accompanying increase in the concentrations of rare earth elements emphasizes strengthening of the role of chemogenic sedimentation due to coagulation of colloidal forms of lanthanides. The main geochemical difference of the sediments of the formation *Saccammina micra*, *Ammomarginulina sibirica* from *Trochammina wetteri tumida*, *Verneuilinoides kansasensis* is the relative enrichment of the latter with alumina. Given the changes of Al_2O_3 and Fe_2O_3 , in the geochemical cycles of the formation *Trochammina wetteri tumida*, *Verneuilinoides kansasensis*, we can assume involvement of redeposited, intensively substituted fragments of feldspars in sedimentation. Strict conformity of the identified boundaries of geochemical cycles of the first order with the volume of the previously set section components (G.N. Aleksandrova, V.B. Beloserev, V.M. Podobina) indicates the accuracy of the proposed scheme of section geochemical division. The observed regularities of vertical variations in the composition of sedimentary rocks associated with the genetic parameters of sedimentation empower geochemical methods in the local correlation of lithological sequences. It should be emphasized that the use of indicator ratios are purely individual and must be adjusted in each case.

REFERENCES

1. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Osnovy litokhimii* [The fundamentals of lithochemistry]. St. Petersburg: Nauka Publ., 2000. 479 p.
2. Maslov A.V. *Osadochnye porody: metody izucheniya i interpretatsii poluchennykh dannykh* [Sedimentary rocks: methods of study and data interpretation]. Ekaterinburg: The Urals State Mining University Publ., 2005. 289 p.
3. Karogodin Yu.N. *Sedimentatsionnaya tsiklichnost'* [Sedimentary cyclicity]. Moscow: Nedra Publ., 1980. 242 p.
4. Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F. et al. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 1980, vol. 208, pp. 1095–1108. DOI: 10.1126/science.208.4448.1095.
5. Aleksandrova G.N., Kosmygin V.A., Postnikov A.V. Stratigraphy and sedimentary environments for cretaceous deposits in the southern part of the Var'egansk Megabar (Western Siberia). *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya – Stratigraphy and Geological Correlation*, 2010, vol. 18, no. 4, pp. 65–91. DOI: 10.1134/S0869593810040040.
6. Podobina V.M. New data on Upper Cenomanian foraminifers and biostratigraphy of northern district of Western Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*, 2012, vol. 361, no. 6, pp. 182–187. (In Russian).
7. Podobina V.M. *Foraminifery i biostratigrafiya verkhnego mela Zapadnoy Sibiri* [Foraminiferas and biostratigraphy of the Upper Cretaceous of Western Siberia]. Tomsk: NTL Publ., 2000. 388 p.
8. Anoshkina Yu.V., Asochakova E.M., Bukharova O.V., Otmakhov V.I., Tishin P.A. Optimization of conditions for sample preparation of Carbonaceous geological samples for subsequent mass spectrometry with inductively coupled plasma analysis. *Analitika i kontrol'*, 2013, vol. 17, no. 1, pp. 47–58.
9. Sklyarov E.V. (ed.) *Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh* [The interpretation of geochemical data]. Moscow: Intermet Inzhiniring Publ., 2001. Vol. 1, 288 p.

10. Kontorovich A.E., Berman E.L., Bogorodskaya L.I. et al. *Geokhimiya yurskikh i nizhnemelovykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Geochemistry of the Jurassic and Lower Cretaceous deposits of the West Siberian Plain]. Moscow: Nedra Publ., 1971. Issue 36, 251 p.
11. Maynard J. *Geokhimiya osadochnykh rudnykh mestorozhdeniy* [Geochemistry of sedimentary ore deposits]. Translated from English. Moscow: Mir Publ., 1985. 360 p.
12. Taylor S.R., McLennan S.M. *Kontinental'naya kora, ee sostav i evolyutsiya* [The continental crust, its composition and evolution]. Translated from English by Sobolev R.N., Soboleva L.T. Moscow: Mir Publ., 1984. 384 p.
13. Yanochkina Z.A. *Statisticheskie metody izucheniya pestrotsvetov* [Statistical methods for studying mottled sediments]. Moscow: Nedra Publ., 1966. 142 p.
14. Calvert S.E., Price N.B. Composition of manganese nodules and manganese carbonates from Loch Fyne, Scotland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1970, vol. 29, pp. 215-233. DOI: 10.1007/BF00373306.
15. Dalrymple R.W. *Incised Valleys in time and space: an introduction to the volume and an examination of the controls on valley formation and filling*. In: Dalrymple R.W., Leckie D.A., Tillman R.W. (ed.) *Incised Valleys in time and space, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*. Tulsa, USA, 2006, vol. 85, pp. 5-12.
16. Langmuir D. Particle size effect on the reaction goethite=hematite+water. *American Journal of Science*, 1971, vol. 271, pp. 147-156.
17. Murray R.W., Buchholtzen Brink M.R., Jones D.L. et al. Rare earths elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale. *Geology*, 1990, vol. 18, pp. 268-271. DOI: 10.1130/0091-7613(1990)0182.3.CO;2.
18. Murray R.W., Buchholtzen Brink M.R., Brumsack H.J. et al. Rare earth elements in Japan Sea sediments and diagenetic behaviour of Ce/Ce*: results from ODP Leg 127. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, vol. 55, pp. 2453-2466. DOI: 10.1016/0016-7037(91)90365-C.
19. Afonin I.V., Tatyannin G.M., Tishin P.A. Geochemistry of ancient estuarine deposits on the example of pokurskaya suit sediments (West Siberia). *Goldshmid conference*, 2013, vol. 77 (5), p. 559. DOI: DOI:10.1180/minmag.2013.077.5.1.

Received: 31 July 2014