

УДК 550.4:551.86

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПАЛЕОЭСТУАРНОГО БАСЕЙНА ВАНЬЕГАНСКОЙ СТРУКТУРЫ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

**Афонин Игорь Викторович,**

инженер-исследователь центра коллективного пользования  
«Аналитический центр геохимии природных систем» Национального  
исследовательского Томского государственного университета,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36. E-mail: heaven05@list.ru

**Татьянин Геннадий Михайлович,**

канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. палеонтологии и исторической  
геологии Национального исследовательского Томского государственного  
университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36.  
E-mail: gmt@ggf.tsu.ru

**Тишин Платон Алексеевич,**

канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. петрографии Национального  
исследовательского Томского государственного университета,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36. E-mail: labspm@ggf.tsu.ru

*Актуальность работы обусловлена сложностью создания седиментационных и фациальных моделей для верхних пластов покурской свиты.*

**Цель работы:** на основании результатов факторного анализа по петрогенным оксидам и геохимическим индикаторам осадков палеоэстуарного бассейна выделить фациальные зоны и проследить их пространственно-временное развитие, установить основные петрогеохимические факторы, влияющие на химизм осадка.

**Методы исследования:** рентгенофлуоресцентный анализ и ICP-MS с индуктивно связанной плазмой; статистическая обработка данных с использованием программного пакета Statistica 6.0.

**Результаты.** По результатам факторного анализа было показано, что вариативность содержаний петрогенных оксидов зависит от особенностей минерального состава осадка. Неоднородность распределения микропримесей на 20–25 % обусловлена накоплением микроэлементов на геохимических барьерах и подчеркивает вариации физико-химических особенностей pH и Eh среды, которые контролируют процессы взаимодействия вод с твердым осадком. На основании проведенной дискриминации по геохимическим и петрохимическим факторам было выделено шесть фациально-геохимических зон, отвечающих руслам (дельтам), старицам, приливно-отливным зонам, лиманам, ближнему шельфу, областям взаимодействия пресных и соленых вод. Также выявлена латеральная и вертикальная зональность исследуемой структуры, выраженная в переходе континентальных фаций в морские. Установлено, что петрогеохимическая зональность связана с изменениями направления сноса вещества, составом вод, гидродинамической активностью среды осадконакопления и физико-химическими условиями седиментации. Максимальное влияние континентального сноса наиболее четко выражено в осадках русловых и старичных фаций и частично в областях взаимодействия системы море–суша. Вариации физико-химических условий (pH и Eh среды) наиболее четко выражаются в уменьшении кислотности и окислительно-восстановительного потенциала в ряду от континентальных к шельфовым фациям.

**Ключевые слова:**

Покурская свита, геохимические индикаторы, петрогеохимические фации, зональность, палеоэстуарный бассейн.

### Введение

Устьевые области занимают менее 10 % поверхности океана [1]. В данных областях выделяются дельтовые и эстуарные зоны, которые характеризуются интенсивной латеральной и вертикальной изменчивостью и сходным набором литолого-фациальных комплексов, что затрудняет их диагностику.

Учитывая различную активность среды в условиях осадкообразования дельтовых и эстуарных систем предполагается, что важное значение могут приобретать геохимические характеристики осадочных пород, отражающие условия их накопления в системе море–суша. В этой связи нами предпринята попытка выделения петрогеохимических неоднородностей палеоэстуарного бассейна.

В качестве объекта исследований выбрана верхняя часть покурской свиты ( $K_2cm_2$ ), фиксирующая бореальную верхнесеноманскую трансгрессию на фоне общей тенденции потепления [2, 3].

Литологический толща представлена неравномерным переслаиванием песков, слабосцементированных песчаников, глин от алевритистых до алевритовых, глинистых известняков. В нижней части песчаные породы более крепкосцементированные, аргиллитоподобные глины. Накопление данных осадков происходило в условиях морских и прибрежно-континентальных фаций. Для верхов покурской свиты характерен обильный растительный детрит, обугленные обрывки растений, линзы бурых углей, включения и присыпки пирита, конкреции сидерита [4].

### Особенности строения

Эстуарная природа изученного бассейна определяется по характеру преобладающего морского состава комплекса фораминифер, текстурно-структурным особенностям осадочных пород и морфологии алеврито-глинистых и псаммитовых тел [5] (рис. 1).

Временное развитие данной системы фиксируется тремя основными этапами, выраженными в формировании трех литологически контрастных горизонтов с определенными микрофаунистическими комплексами. Нижний комплекс *Saccamina micra*, *Ammomarginulina sibirica* характеризуется двучленным строением [5]. В южной части площади он представлен песчаными осадками с маломощными, до 1,5 м, прослоями алевритов и глин. Текстурно-структурные особенности позволяют относить их к русловым, дельтовым и прибрежно-морским группам фаций. На севере структуры обнаруживаются преимущественно глинистые, алеврито-глинистые и карбонатные породы. Они несут в себе признаки морского генезиса и относятся к фациям лагун, заливов и ближнего шельфа [4].

Выше по разрезу залегает комплекс *Gaudryinopsis nanushukensis elongates* [5]. Литологически он является однородным по всей площади Ван-Еганской структуры и представлен карбонатно-глинистыми образованиями малоподвижного бассейна с повышенной соленостью.

Третий комплекс – *Trochammina wetteri tumida*, *Verneuilinoides kansasensis* [5] – характеризуется максимальной неоднородностью состава отложений, которая выражена в сложном чередовании алевритовых, псаммитовых и глинистых разностей. Для них характерна высокая вариативность структурно-текстурных особенностей, которые

предполагают выделение зон приливных каналов, приливо-отливных течений, малоподвижного мелководья и аккумулятивных форм прибрежно-морской области.

### Методика исследований и полученные результаты

В основу работы было положено 125 определений содержаний петрогенных окислов, методом РФА и микроэлементного состава с помощью ICP-MS.

Исследования проводились в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского Государственного университета. 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 проводят на аппарате Agilent 7500сх, Agilent Technologies. Съемка проводилась по оригинальной методике Ю.В. Аношкиной [6, 7]. Качество полученных результатов оценивалось на основании стандартов BCR-2, СГХМ-1, СГ-3, ССЛ-1.

По особенностям химического состава выделяются сиалиты и их железистые карбонатолиты и карбонатные образования, которые отличаются друг от друга по содержанию  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Микроэлементный состав соответствует типичным осадочным породам. Средние значения петрогенных оксидов и геохимических коэффициентов основных литологических типов горных пород представлены в табл. 1. Исследуемые породы характеризуются высокой вариативностью показателей  $\text{Sr/Ba}$  и  $\text{Mn/U}$ , значения которых увеличиваются в ряду песчаники – алевролиты – карбонатно-глинистые образования [8–11]. В целом по разрезам

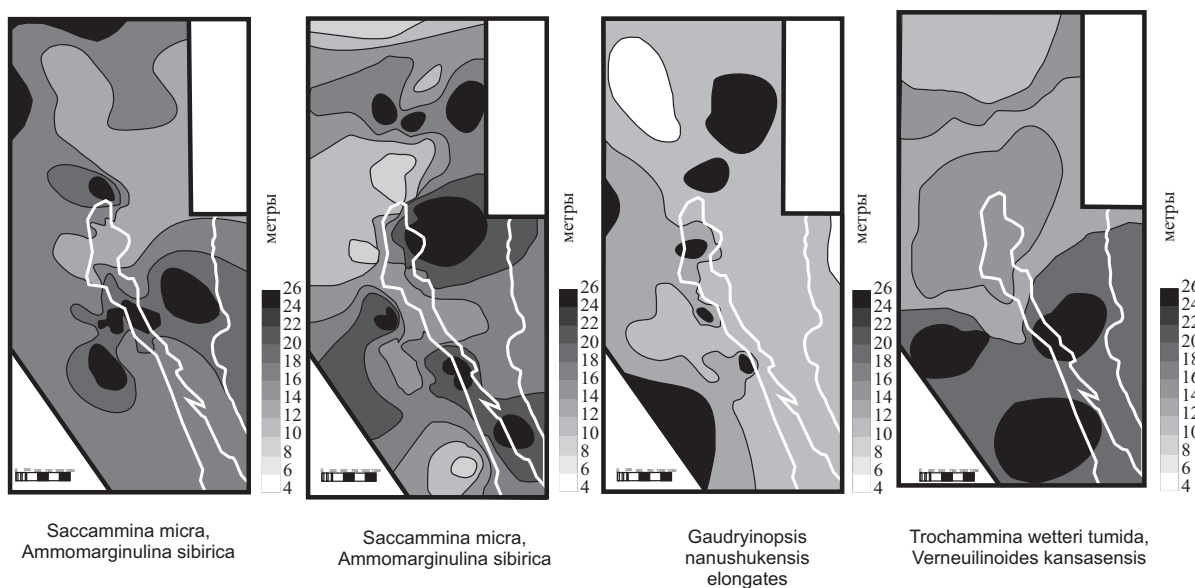


Рис. 1. Карты общей песчаности по микрофаунистическим горизонтам. Белым обозначен контур палеокосы

Fig. 1. Maps of common sand content along the microfauna horizons. Spit contour is marked in white

отсутствуют ярко выраженные признаки латеральной и вертикальной изменчивости осадков. Для их диагностики был проведен факторный анализ, позволивший обнаружить определенные закономерности.

Следующий шаг заключался в проведении статистической обработки данных с помощью факторного анализа. Сущность данного метода заключается в построении собственных векторов исходной ковариационной матрицы, длина которых отображает их относительный вклад в суммарную дисперсию выборки [12]. Число векторов (компонент) соответствует количеству исходных параметров. При моделировании количество компонент ограничивается до 3–5, суммарная нагрузка которых составляет 75–91 %. Структура каждой компоненты или ее координаты определяются коэффициентами корреляции отдельных переменных и, по существу, фиксирует роль взаимных вариаций исследуемых параметров. Факторный анализ был проведен по двум основным выборкам: по результатам силикатного анализа и геохимическим индикаторам. Результаты представлены в табл. 2, 3.

**Таблица 1.** Средние содержания петрогенных оксидов (мас. %) и ряда химических элементов (г/т) в основных литологических типах осадков верхов покурской свиты

**Table 1.** Average content of petrogenic oxides (wt. %) and a number of chemical elements (g/t) in the main lithological types of sediments in upper parts of Pokurskaya strata

Элемент Element	Песчаники Sandstones	Алеволиты Siltstones	Карбонатно-глинистые Carbonate-argillaceous	Элемент Element	Песчаники Sandstones	Алеволиты Siltstones	Карбонатно-глинистые Carbonate-argillaceous
Na <sub>2</sub> O	1,58	1,55	1,55	La	25,09	27,53	30,51
MgO	0,53	0,47	0,49	Ce	56,93	65,54	67,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,60	19,60	21,60	Pr	5,92	6,53	7,35
SiO <sub>2</sub>	61,28	58,03	55,37	Nd	22,65	25,35	27,34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,07	0,07	Sm	4,43	5,00	5,32
K <sub>2</sub> O	2,13	2,54	2,94	Eu	1,01	1,09	1,09
CaO	0,44	0,65	0,65	Gd	3,91	4,35	4,63
TiO <sub>2</sub>	1,02	0,96	0,96	Tb	0,60	0,68	0,72
MnO	0,11	0,10	0,25	Dy	3,52	3,91	4,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,78	7,09	8,95	Ho	0,72	0,80	0,84
LOI	7,55	8,55	8,55	Er	2,04	2,24	2,38
Сумма Total	99,90	99,60	101,38	Tm	0,31	0,34	0,36
Li	71,92	79,22	95,95	Yb	2,01	2,20	2,31
Sc	12,35	13,99	15,48	Lu	0,30	0,33	0,35
V	113,77	124,08	118,75	Hf	3,67	3,83	4,03
Cr	110,15	123,96	122,25	Ta	0,99	1,02	1,11
Co	15,15	17,78	25,07	Pb	18,83	19,50	19,75
Ni	56,08	65,62	79,01	Th	7,76	8,00	9,07
Cu	26,80	34,00	30,79	U	2,62	2,88	3,13
Zn	68,75	81,14	89,19	Y	17,54	20,15	21,76
Ga	13,72	33,69	44,43	Zr	135,76	142,23	151,22
Rb	68,11	70,73	80,19	Nb	12,74	14,07	14,86
Sr	106,54	134,01	148,50	Cs	5,43	5,49	5,37
Ba	319,91	361,67	453,33				

Неоднородность распределения основных петрогенных оксидов на 76 % определяется четырьмя основными факторами (табл. 2). Первый (петрохимический фактор – ПФ1) отражает обратные зависимости между SiO<sub>2</sub> и оксидами когерентными фосфатам и карбонатам P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Это позволяет интерпретировать его как индикатор интенсивности карбонатизации терригенных осадков. Наблюдаемая при этом значимая положительная нагрузка K<sub>2</sub>O (0,65) и Na<sub>2</sub>O (0,57) указывает на высокую активность щелочей при развитии аутигенной минерализации, подчеркивая морской режим седиментации [13].

Второй фактор (ПФ2) определяется обратным накоплением оксидов магния, кальция и калия по отношению к MnO, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на фоне незначительных вариаций SiO<sub>2</sub> и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Подобная структура предполагает латеральную дифференциацию осадков в зоне перехода суша–море. Накопление кальция и магния в совокупности с калием подчеркивают восстановительную карбонатизацию в щелочной среде ближнего шельфа. Совместное концентрирование Ti, Mn и Al предполагает соосаждение глин и акцессорных минералов (рутил, ильменит, магнетит) в зонах терригенной разгрузки [14].

Третий фактор (ПФ3) фиксируется обратной зависимостью Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, LOI по отношению к SiO<sub>2</sub>. Он отражает соотношение в осадках обломочной и глинистой составляющих.

Структура четвертого фактора (ПФ4) связывается с обратной зависимостью элементов когерентных полевым шпатам Al, Na, K по отношению к величине LOI. Что позволяет интерпретировать данный фактор, как отражение степени выветривания или результат рециклинга осадков.

Неоднородность распределения геохимических индикаторов, выраженная в структуре факторных нагрузок, приведена в табл. 3.

Первый фактор (геохимический фактор – ГФ1) характеризуется обратной корреляцией Mn/U по отношению к параметрам распределения редкоземельных элементов (ΣTR, La/Yb, Gd/Yb). Подобная структура демонстрирует дискретное распределение хемогенной карбонатно-фосфатной минерализации к общему обогащению лантаноидами, которые фиксирует дифференциацию обломочного материала [15].

Второй фактор (ГФ2) выражен в обратной корреляции двух комплексов: Gd/La+Sr/Ba+Mn/U и U/Th+SiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Четкая прямая зависимость обогащения средними редкими землями пород с показателями солености и карбонатизации отражает хемогенное накопление средних лантаноидов структурами карбонатов в морских условиях [16–18]. Прямая корреляция показателя окисления (U/Th) и общей терригенной нагрузки (SiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) позволяет рассматривать отрицательные значения данного фактора как индикатор континентального сноса.

Третий фактор (ГФ3) демонстрирует обратную связь Fe/Mn по отношению к Ce/Ce\*, Mn/U и

**Таблица 2.** Результаты факторного анализа петрогенных оксидов

**Table 2.** Results of the factor analysis of petrogenic oxides

Фактор Factor	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Значимость фактора, % Factor value, %
ПФ1	<b>-0,77</b>	0,39	-0,21	<b>0,89</b>	0,27	<b>0,82</b>	<b>0,74</b>	0,57	0,65	<b>0,9</b>	0,23	0,37
ПФ2	0,05	<b>-0,82</b>	<b>-0,43</b>	-0,11	<b>0,74</b>	0,31	<b>-0,58</b>	0,05	<b>0,43</b>	0,02	0,09	0,17
ПФ3	<b>-0,6</b>	-0,17	<b>0,47</b>	-0,02	0,04	-0,05	-0,11	-0,29	-0,09	-0,15	<b>0,8</b>	0,13
ПФ4	-0,18	-0,18	<b>0,71</b>	-0,03	-0,03	-0,07	-0,13	0,3	0,36	-0,03	<b>-0,47</b>	0,09

**Таблица 3.** Результаты факторного анализа геохимических индикаторов

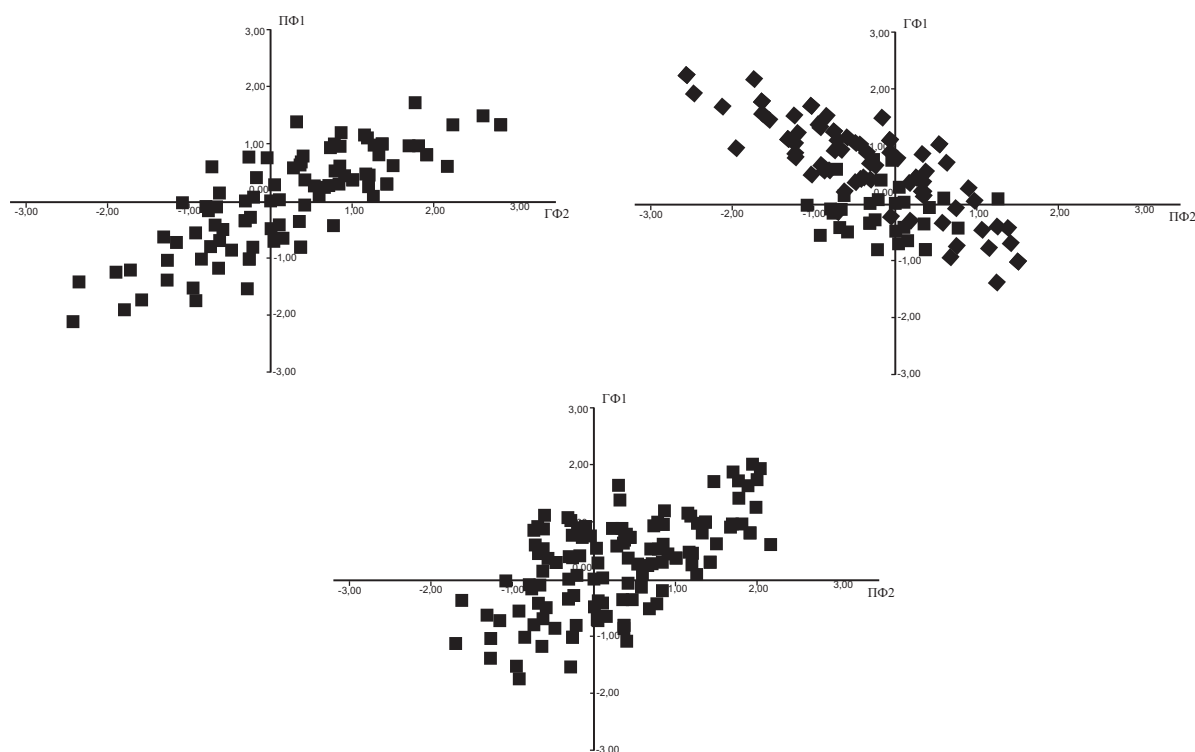
**Table 3.** Results of the factor analysis of geochemical indicators

Фактор Factor	ΣTR	Ce/Ce*	Eu/Eu*	La/Yb	Sr/Ba	U/Th	Fe/Mn	SiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn/U	Gd/La	Gd/Yb	Ti/Zr	Значимость фактора, % Factor value, %
ГФ1	0,81	-0,23	0,5	0,89	-0,24	-0,19	0,09	0,06	-0,42	-0,19	0,9	0,01	0,34
ГФ2	0,39	-0,14	0,1	-0,22	0,46	-0,47	-0,34	-0,82	0,46	0,82	0,27	-0,4	0,22
ГФ3	0,07	0,48	0,08	0,17	-0,39	0,54	-0,75	-0,3	0,42	-0,08	0,13	0,33	0,14
ГФ4	0	0,74	0,3	0,06	0,56	0,45	0,4	-0,06	-0,21	0,13	0,13	-0,14	0,12

U/Th. Это интерпретируется как показатель редокс – потенциал среды, при этом положительные значения будут отвечать окислительным обстановкам, а отрицательные – восстановительным [19].

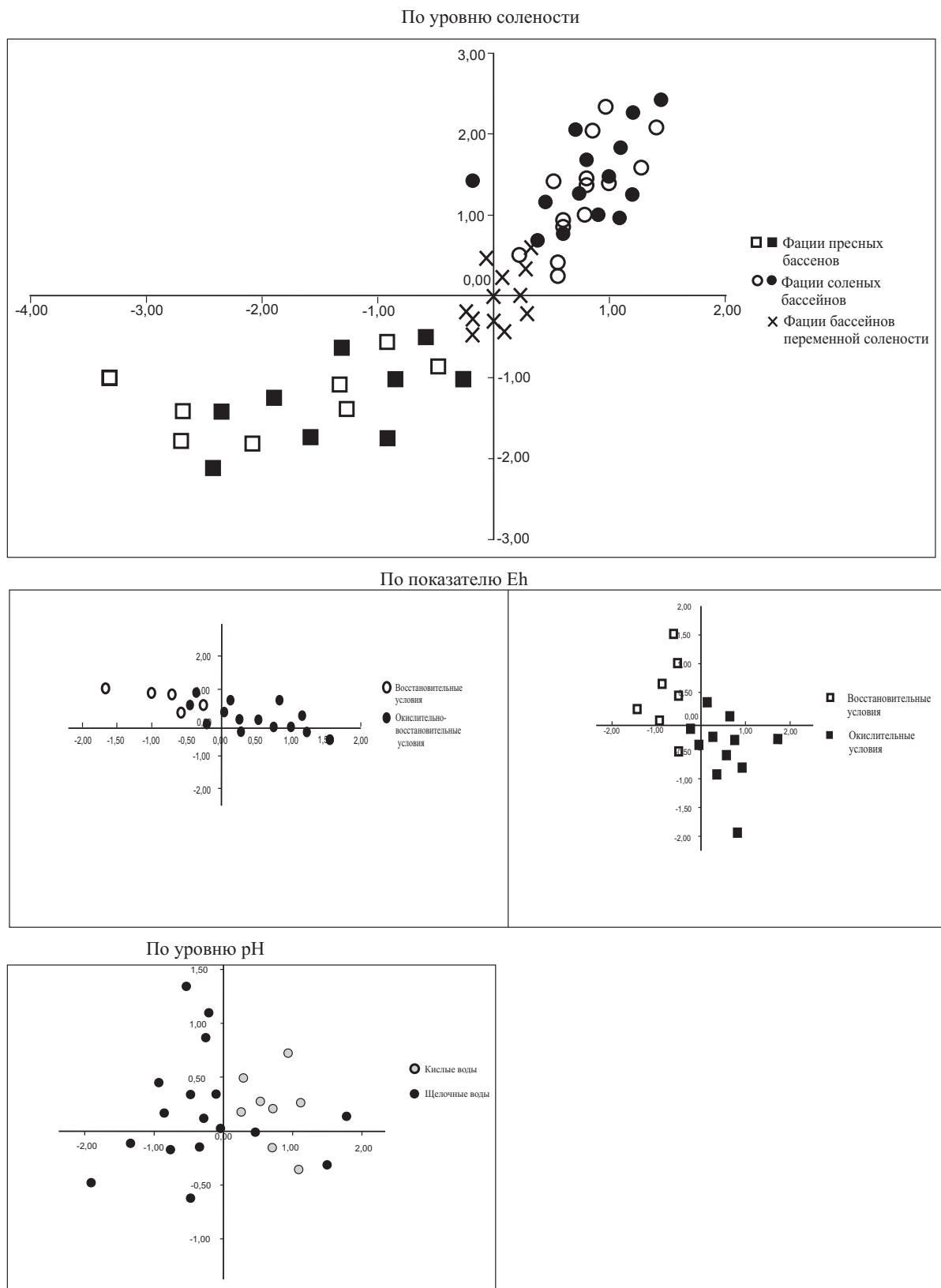
Четвертый фактор (ГФ4) характеризуется отрицательной корреляцией Mn/U по отношению к Ce/Ce\* и Sr/Ba. Она может быть интерпретирована как индикатор изменения солёности бассейна в результате смешения солёных и пресных вод и отражать барьерную карбонатизацию, на фоне изменения pH [20]. В результате его положительные значения отвечают pH > 5, а отрицательные – pH < 9.

Достоверность приведенной интерпретации подчеркивается наличием значимых корреляционных зависимостей абсолютных значений факторных нагрузок, полученных по выборкам петрогенных оксидов и геохимических индикаторов (рис. 2). Так как в основу данной интерпретации заложены показатели вариативности минерального состава осадков и геохимические показатели уровня солёности, изменения окислительно-восстановительного потенциала и кислотно-щелочности среды седиментации, была предпринята попытка дискриминации геохимических фаций на



**Рис. 2.** Корреляционные зависимости факторных нагрузок

**Fig. 2.** Correlation dependences of factor loads



**Рис. 3.** Дискриминация верхнесеноманских осадков по уровню солёности среды седиментации, pH и Eh

**Fig. 3.** Discrimination of Upper-Cenomanian sediments according to sedimentation media salinity degree, pH and Eh

основании абсолютных значений факторных нагрузок.

Первым шагом при выделении геохимических фаций является разделение морских и континентальных отложений по уровню солености среды седиментации. Приведенные выше исследования показали, что эти параметры отражаются в структурах фактора ГФ2 и компоненты ПФ1, фиксирующей степень прибрежно-морской карбонатизации. Дискретное распределение значений факторных нагрузок по этим компонентам позволяет выделить группы фаций соленых бассейнов (морских и прибрежно-морских: ГФ2 и ПФ1 от 2,5 до 0,5), бассейнов переменной солености (область взаимодействия морских и пресных вод: ГФ2 от 0,5 до -0,5 и ПФ1 от 0,5 до -0,5) и пресных бассейнов (континентальных: ГФ2 от -0,5 до -2,5 и ПФ1 от -0,5 до -2,5). Следующим шагом при фациальной геохимической дискриминации является разделение осадков по качественным оценкам окислительно-восстановительных параметров (ГФ3, ПФ2), индикаторов кислотности – щелочности (ГФ4, ПФ2) среды седиментации (рис. 3).

Таким образом, на основании значений факторных нагрузок компонент (ГФ3, ПФ2) группа фаций соленых и пресных бассейнов были разделены на две подгруппы каждая. Первая включает в себя отложения, характеризующиеся окислительно-восстановительным (переменным) и восстановительным потенциалами (ГФ3 от -0,5 до -2,5). Осадки группы пресных бассейнов обнаруживают окислительный (ГФ3 от 0,5 до 2,5) и восстановительный потенциалы (рис. 3).

При этом следует отметить, что дискриминация на основе показателя рН была проведена только для отложений переменного потенциала, четко разделяющихся по составу вод на щелочные (ГФ4 2,5 от до 0, ПФ2 от 2,5 до 0) и кислые (ГФ4 от 0 до -2,5 и ПФ2 от -0,5 до -2,5).

На основании приведенной дискриминации в пределах Ваньеганской структуры установлено шесть основных фациально-геохимических зон, соответствующие главным палеогеографическим элементам: руслам (дельтам), старицам, приливо-отливным зонам, лиманам, ближнему шельфу, областям взаимодействия пресных и соленых вод. Каждая из выделенных фациальных групп имеет четкую пространственно-временную позицию (рис. 4).

Осадки русловых фаций слагают основание разреза горизонта *Saccamina micra*, *Ammomarginulina sibirica*. Их формирование протекало в пресном или слабо соленом бассейне (Sr/Ba до 0,2) в окислительных условиях и переменных значениях рН. Также отмечается аркозный профиль отложений.

Осадки старичных фаций установлены в восточной части верхнего сегмента горизонта *Saccamina micra*, *Ammomarginulina sibirica*. Их образование происходит в среде кислотно-щелочного состава при резко восстановительных условиях. На западе эти образования сменяются осадками береговой линии или зон смешения морских и континентальных вод. Они характеризуются значительными вариациями физико-химических показателей (ГФ4 от -2 до 2 и ПФ2 от -2 до 2), отражаю-

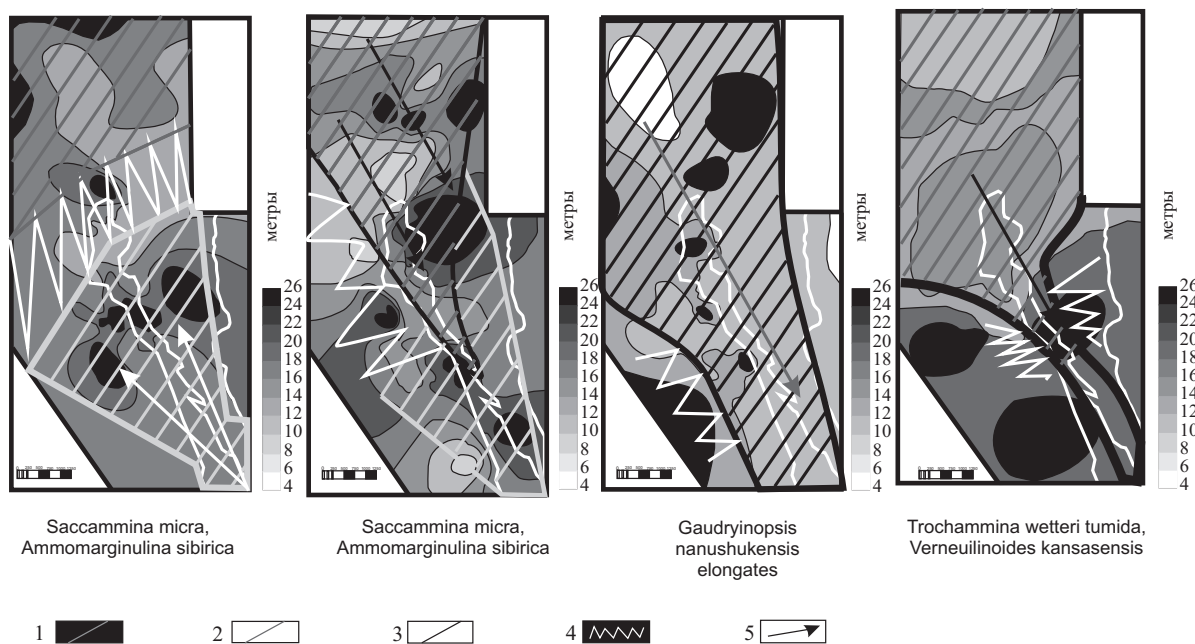


Рис. 4. Палеогеографические реконструкции по микрофаунистическим горизонтам: 1) эстуарные; 2) речные и дельтовые; 3) морские; 4) прибрежно-морские осадки; 5) преобладающее направление потока

Fig. 4. Paleogeographic reconstruction along the microfauna horizons: 1) estuarine; 2) fluvial-deltaic; 3) marine; 4) coastal-marine sediments; 5) predominate flow direction

щими переменный состав вод и существенные колебания рН-Eh режимов (рис. 2). Эти осадки слагают верхнюю часть горизонта *Saccamina micra*, *Ammotarginulina sibirica*.

В составе горизонта *Trochammina wetteri tumida*, *Verneuilinoides kansasensis* выделяются зоны распространения лиманных, приливно-отливных и шельфовых осадков. Лиманы образуют узкую северо-западную зону в южной части структуры. Накопление терригенного материала в лиманах осуществляется в соленом бассейне (Sr/Ba до 0,37) с кислым составом вод (ГФ4 от 0 до -2,5), на фоне широкой вариативности Eh (ГФ3 от -2 до 2), которая может быть связана с термодинамической неоднородностью зоны формирования осадка. Это может быть обусловлено выделением гумусовых кислот при разложении органического вещества. В результате этого отмечается подкисление придонных вод на общем восстановительном фоне среды [12, 13].

Отложения шельфовых и приливно-отливных зон слагают основной объем выделенных стратифицированных комплексов.

Физико-химические условия образования фаций приливно-отливных зон характеризуются повышенной щелочностью среды, переменными значениями окислительно-восстановительного потенциала и солености бассейна.

Осадки шельфовых зон вскрываются на севере структуры. Их литогеохимические характеристики подчеркивают восстановительные условия (ГФ3 = -2,5 -0), щелочную среду (ГФ4 от 0 до 2,5) и повышенную соленость бассейна седиментации.

#### Выводы

Проведенные исследования показали, что вариации содержаний петрогенных окислов определяется особенностями минерального состава осадков. Неоднородность распределения микропримесей на 20–25 % обусловлена накоплением микроэлементов на геохимических барьерах и подчеркивает вариации физико-химических особенностей

рН и Eh среды, которые контролируют процессы взаимодействия вод с твердым осадком.

Особенности петрогеохимической зональности изученного эстуарного бассейна обнаруживают ее четкую связь с основными палеогеографическими элементами, выраженными в изменениях направления сноса вещества, гидродинамической активности среды осадконакопления, физико-химических условиях седиментации и состава вод.

*Максимальное влияние континентального сноса наиболее четко выражено в осадках русловых и старичных фаций* и частично в областях взаимодействия системы море-суша. Отложения имеют аркозный профиль преимущественно кварцевого и алевроитового состава. Изменение направленности потоков *в приливно-отливных зонах* способствует увеличению доли *переотложенного терригенного материала*, что отражается в, преимущественно, кварцевом составе и гидролизатом профиле осадков.

Вариации физико-химических условий (рН и Eh среды) наиболее четко выражаются в уменьшении кислотности и окислительно-восстановительного потенциала в ряду от континентальных к шельфовым фациям. Это находит свое отражение в изменении состава глинистой составляющей терригенных пород *от хлорит-каолинит-гидрослюдистой ассоциации в дельтовых фациях к иллит-каолинит-хлорит-монтмориллонитовой – в прибрежно-морских зонах*, которые на шельфе сменяются *каолинит-монтмориллонитовыми комплексами*.

Важное значение при реконструкции палеоэстуарных бассейнов приобретает диагностика областей смешения пресных и соленых вод. Полученные данные позволяют ограничить области их влияния по значениям ГФ4 и ПФ2 от -0,5 до 0,5. Промежуточные значения фиксируют зоны смешения вод, что в условиях низкой гидродинамики лиманов способствует интенсивной барьерной солевой минерализации и выражается в образовании Mn-содержащих карбонатно-фосфатных комплексов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. – 1994. – Т. 34. – № 5. – С. 735–747.
2. Подобина В.М. Фораминиферы и зональная стратиграфия верхнего мела Западной Сибири. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. – 232 с.
3. Подобина В.М. Фораминиферы и биостратиграфия верхнего мела Западной Сибири. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 388 с.
4. Александрова Г.Н., Космынин В.А., Постников А.В. Стратиграфия и условия седиментации меловых отложений южной части Варьеганского мегавала (Западная Сибирь) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2010. – Т. 18. – № 4. – С. 65–91.
5. Подобина В.М. Новые сведения по фораминиферам и биостратиграфии верхнего сеномана северного района // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – Т. 361. – № 6. – С. 182–187.
6. Аношкина Ю.В. Разработка методики определения рассеянных элементов в геологических образцах методом масс-спек-

7. Аношкина Ю.В., Никитина Е.И. Масс-спектральное (с индуктивно-связанной плазмой) определение редкоземельных элементов, циркония, гафния, ниобия и тантала в геологических образцах с применением микроволнового разложения // Петрология магматических и метаморфических комплексов: матер. Всерос. петрографической конф. – Томск, 2009. – С. 9–12.
8. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). – Сыктывкар: Геопринт, 2011. – 742 с.
9. Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. – 289 с.
10. Интерпретация геохимических данных / под. ред. Е.В. Склера. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 288 с.

11. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. – СПб.: Наука, 2000 – 479 с.
12. Дэвис Дж.С. Статистический анализ в геологии. В 2-х кн. – М.: Недра, 1990. – Кн. 1. – 800 с.
13. Marine geochemistry / ed. H.D. Schulz, M. Zabel. – Berlin: Springer, 2000. – 574 p.
14. Ohta A., Kawabe I. Theoretical study of tetrad effect observed in REE distribution coefficients between marine Fe-Mn deposit and deep seawater, and in REE (III)-carbonate complexation constants // *Ibid.* – 2000. – V. 34. – P. 455–473.
15. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976. – 267 с.
16. Boyle E.A., Edmond J.M., Sholkovitz E.R. The mechanism of iron removal in estuaries // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1977. – V. 41. – № 9. – P. 1313–1324.
17. Feijtel T.C., DeLaune R.D., Patrick W.H.Jr. Biogeochemical control on metal distribution and accumulation in Louisiana sediments // *J. Environ. Quality.* – 1988. – V. 17. – № 1. – P. 88–94.
18. Sholkovitz E., Szymczak R. The estuarine chemistry of rare earth elements: Comparison of the Amazon, Fly, Sepik and Gulf of Papua system // *Earth and Planet. Sci. Lett.* – 2000. – V. 179. – P. 299–309.
19. Haley B.A., Klinhammer G.P., McManus J. Rare earth elements in pore of marine sediments // *Ibid.* – 2004. – V. 68. – № 6. – P. 1265–1279.
20. Luo Y.R., Byrne R.H. Carbonate complexation of yttrium and the rare earth elements in natural waters // *Geochim. et cosmochim. Acta.* – 2004. – V. 68. – № 4. – P. 691–699.

Поступила 19.05.2014 г.

UDC 550.4:551.86

## GEOCHEMICAL HETEROGENEITY OF PALEOESTUARINE BASIN OF VANEGANSKAYA STRUCTURE (WESTERN SIBERIA)

**Igor V. Afonin,**

National Research Tomsk State University, 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: heaven05@list.ru

**Gennadiy M. Tatyandin,**

Cand. Sc., National Research Tomsk State University, 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: gmt@ggf.tsu.ru

**Platon A. Tishin,**

Cand. Sc., National Research Tomsk State University, 36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: labspm@ggf.tsu.ru

*Relevance of the work is determined by the complexity of creating sedimentary and facies models for the upper layers of the Pokursky suite.*

**The aim of the research** is to determine facies zones based on the factor analyses of the major oxides and geochemical indicators of the sediments of paleoestuarine basin and to observe their space-time evolution; to indicate the main factors influencing the sediment chemistry.

**The research methods:** X-ray fluorescence (XRF) and inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) analyses, statistical data processing using the software package Statistica 6.0.

**The results.** The factor analysis demonstrated that the variability in the contents of major oxides depends on the features of the mineral composition of sediment. 20–25 % of trace elements have a heterogeneous distribution which is caused by the accumulation of trace elements at the geochemical barriers. This fact indicates the variations of physical and chemical features of pH and Eh, which control the processes of water–sediment interaction. Based on the discrimination on geochemical and petrochemical factors the authors determined six facies-geochemical zones which correspond to beds (delta), oxbows, tidal zones, silted estuaries, shelf and areas of interaction of fresh and salt water. The lateral and vertical changes of the structure under study were found out. This shows the transition of continental facies into marine ones. It was ascertained that the petrogeochemical zonation is associated with the changes in substance ablation direction, water structure, hydrodynamic activity of depositional environment and physico-chemical conditions of sedimentation. The maximum influence of continental ablation is more clearly expressed in sediments of river and oxbow facies, and partially in the interaction areas of sea–land system. The variations of physico-chemical conditions (pH and Eh of the medium) are most distinctly expressed in reduction of acidity and redox potential from continental to shelf facies.

**Key words:**

*Pokurskaya strata, geochemical indicators, petrogeochemical facies, zonation, paleoestuarine basin.*



## REFERENCES

1. Lisitsyn A.P. Marginalny filtr okeanov [Marginal Filter of the Oceans]. *Okeanologiya*, 1994, vol. 34, no. 5, pp. 735–747.
2. Podobina V.M. *Foramenifery i zonalnaya stratigrafiya verkhnego mela Zapadnoy Sibiri* [The Upper Cretaceous foraminifers and zonal stratigraphy of the Western Siberia]. Tomsk, TGU Press., 1989. 232 p.
3. Podobina V.M. *Foramenifery i biostratigrafiya verkhnego mela Zapadnoy Sibiri* [The Upper Cretaceous foraminifers and biostratigraphy of the Western Siberia]. Tomsk, NTL Publ., 2000. 388 p.
4. Aleksandrova G.N., Kosmynin V.A., Postnikov A.V. Stratigrafiya i sedimentatsiya melovykh otlozheniy yuzhnoy chasti Varyeganskogo megavala (Zapadnaya Sibir) [Stratigraphy and sedimentational environment of the Cretaceous deposits from the southern part of the Varyeganskiy megaswell (West Siberia)]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyaziya*, 2010, vol. 18, no. 4, pp. 65–91.
5. Podobina V.M. Novye svedeniya po foraminiferam i biostratigrafii verkhnego senomana severnogo rayona [New data on upper cenomanian foraminifers and biostratigraphy of northern district of Eastern Siberia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, vol. 361, no. 6, pp. 182–187.
6. Anoshkina Yu.V. Razrabotka metodiki opredeleniya rasseyannykh elementov v geologicheskikh obraztsakh metodom mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoy plazmoy [Development of methods for determining trace elements in geological samples by ICP-MS]. *Problemy geologii i osvoenie nedr. Trudy XIV mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchennykh* [XVIII International Scientific Symposium in Honor of Academician M.A. Usov: Problems of Geology and Subsurface Development]. Tomsk, 2010. Vol. 1, pp. 78–79.
7. Anoshkina Yu.V., Nikitina E.I. Mass-spektralnoe (s induktivno-svyazannoy plazmoy) opredelenie redkozemelnykh elementov, tsirkoniya, gafniya, niobiya i tantala v geologicheskikh obraztsakh s primeneniem microvolnovogo razlozheniya [Determination of REE, Zr, Hf, Nb and Ta by ICP-MS with microwave analysis in geological samples]. *Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov: materialy Vserossiyskoy petrograficheskoy konferentsii* [Scientific Conference. Petrology of igneous and metamorphic complexes]. Tomsk, 2009. pp. 9–12.
8. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Geokhimicheskie indicatory lithogeneza* [Geochemical indicators of lithogenesis]. Syktyvkar, Geoprint, 2011. 742 p.
9. Maslov A.V. *Osadochnye porody: metody izycheniya i interpretatsiya poluchennykh dannykh* [Sedimentary rocks: methods of study and interpretation of the data]. Yekaterinburg, UGGU Press, 2005. 289 p.
10. *Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh* [Geochemical data interpretation]. Ed. by E.V. Sklyarov. Moscow, Internet Inzhiring Publ., 2001. 288 p.
11. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Osnovy litokhimii* [Basis of lithochemistry]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2000. 479 p.
12. Devis Dzh. *Statisticheskii analiz dannykh v geologii* [Statistical data analysis in geology]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 800 p.
13. *Marine geochemistry*. Eds. H.D. Schulz, M. Zabel. Berlin, Springer, 2000. 574 p.
14. Ohta A., Kawabe I. Theoretical study of tetrad effect observed in REE distribution coefficients between marine Fe-Mn deposit and deep seawater, and in REE (III)-carbonate complexation constants. *Ibid.*, 2000, vol. 34, pp. 455–473.
15. Balashov Yu.A. *Geokhimiya redkozemelnykh elementov* [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 267 p.
16. Boyle E.A., Edmond J.M., Sholkovitz E.R. The mechanism of iron removal in estuaries. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 1977, vol. 41, no. 9, pp. 1313–1324.
17. Feijtel T.C., DeLaune R.D., Patrick W.H.Jr. Biogeochemical control on metal distribution and accumulation in Louisiana sediments. *J. Environ. Quality*, 1988, vol. 17, no. 1, pp. 88–94.
18. Sholkovitz E., Szymczak R. The estuarine chemistry of rare earth elements: Comparison of the Amazon, Fly, Sepik and Gulf of Papua system. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 2000, vol. 179, pp. 299–309.
19. Haley B.A., Klinhammer G.P., McManus J. Rare earth elements in pore of marine sediments. *Ibid.*, 2004, vol. 68, no. 6, pp. 1265–1279.
20. Luo Y.R., Byrne R.H. Carbonate complexation of yttrium and the rare earth elements in natural waters. *Geochim. et cosmochim. Acta.*, 2004, vol. 68, no. 4, pp. 691–699.

Received: 19 May 2014.