



АФОНИН ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА
ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ПОКУРСКОЙ СВИТЫ ВАНЬЕГАНСКОЙ
НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ СТРУКТУРЫ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков
полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Научный руководитель: ***Гертнер Игорь Федорович***
кандидат геолого-минералогических наук, доцент

Официальные оппоненты: ***Летникова Елена Феликсовна***
доктор геолого-минералогических наук,
Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ
СО РАН), главный научный сотрудник лаборатории
«Геодинамики и магматизма»

Жуковская Елена Анатольевна
кандидат геолого-минералогических наук,
ООО «Газпромнефть Научно-Технический Центр»,
ведущий эксперт по седиментологии терригенных
коллекторов

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

Защита состоится «15» марта 2017 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.269.03 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, корпус 20, аудитория 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/2799/worklist>

Автореферат разослан «15» января 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.г.-м.н.

О.Е. Лепокурова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Последнее время при решении задач литологии, стратиграфии, геодинамики, палеогеографии, геологии месторождений нефти и газа, все больше внимания уделяется применению геохимических методов (Баженова и др., 2000; Летникова, 1999; Маслов, 2010, 2015; Шатров, 2005; Юдович, Кетрис, 2011; Berger et al., 1981). При решении задач расчленения и корреляции «немых толщ», наряду с методами цикло- и хемотратиграфии сегодня все большее значение приобретает элементная химическая стратиграфия, основанная на диагностике как планетарных аномалий, подобной всплеску иридия на границе мела и палеогена (Alvarez et al., 1981), так и геохимических последствий резких климатических изменений на рубеже основных геологических периодов (Fačevićová et al., 2016). Одним из наиболее важных направлений развития современной литогеохимии является ее приложение к фаціальным и палеогеографическим реконструкциям (Лукашев, 1980; Маслов, 2010, 2015; Юдович, 2007, 2011). При условии тесной генетической связи химических показателей с факторами литогенеза данный подход может приобретать ключевое значение при диагностике условий осадконакопления, так как основан на поведении химических элементов в геологических процессах. Учитывая такие возможности литогеохимических методов, возрастает их значимость при построении седиментологических моделей прибрежно-морских осадков вмещающих месторождения нефти и газа.

На современном уровне освоения нефтегазовых месторождений эффективность отработки трудноизвлекаемых и остаточных запасов во многом определяется качеством выделения коллекторов в результате разукрупнения некогда единых нерасчлененных залежей. Эта задача значительно усложняется в условиях палеогеографической изменчивости, когда в осадках фиксируется конвергентность признаков характерных как для морских, так и для континентальных отложений, не позволяющих однозначно определить условия седиментации (Чернова, 2004, 2007; Бижу-Дюваль, 2012). В этом случае геохимический подход приобретает особо важное значение при локальном сопоставлении разрезов на фоне резкой фацальной неоднородности, характерной для отложений прибрежно-морских зон (Haskin, Haskin, 1966; Красилов, 1990; Бижу-Дюваль, 2012).

Цель: разработка литогеохимических критериев фацального разделения осадков верхнесеноманского палеоэстуарного бассейна (пласты ПК₁₋₂(покурская свита)) Ваньеганской структуры.

Задачи:

1. С помощью традиционных и прецизионных методов исследования вещества изучить минеральный и химический составы осадочных пород, составляющих пласты ПК₁₋₂ – покурской свиты
2. По характеру распределения петрогенных оксидов и микроэлементов провести их геохимическую аттестацию;
3. Установить взаимосвязь минерального и химического составов пород;
4. На основе результатов статистической обработки данных выделить главные факторы, определяющие литогеохимическую неоднородность разреза;
5. Определить основные геохимические параметры вертикальной изменчивости и оценить их возможности для корреляции группы пластов ПК₁₋₂ в пределах Ваньеганской структуры;
6. Установить закономерности латеральной изменчивости химического состава отложений и на их основе разработать критерии фацального разделения осадков

верхнесеноманского палеоэстуарного бассейна (пласты ПК₁₋₂(покурская свита)) Ваньеганской структуры.

Фактический материал и методы исследований.

В основу работы положен керновый материал, отобранный в рамках совместного проекта № 282 «Биостратиграфический и литогеохимический анализ керна залежи ПК₁₋₂ Ван-Еганского НГКМ» ОАО «ТНК-ВР Холдинг» и Томского государственного университета. Были использованы фондовые материалы по исследуемой структуре, литературные и опубликованные данные по литогеохимии Западной Сибири и эстуарным бассейнам.

Экспериментальные исследования проводились в Центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета. Для определения химического состава пород был проведен рентгенофлуоресцентный анализ по 124 образцам (энергодисперсионный спектрометр OXFORD ED2000, аналитик – канд. геол.-минер. наук Е.М. Асочакова), микроэлементный состав 124 образцов определялся методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Agilent 7500 сх, аналитик – инженер-исследователь Е.И. Никитина). Для определения минерального состава были проведены рентгеноструктурный (модульный дифрактометр X'Pert Powder, аналитик – канд. геол.-минер. наук Т.С. Небера) и термический (STA 409 PC Luxx, аналитик – канд. геол.-минер. наук Е.М. Асочакова) анализы по 124 образцам.

Научная новизна.

1. Разработана схема расчленения и корреляции пластов ПК₁₋₂ в пределах Ваньеганской структуры, основанная на поведении показателей модуля нормативной щелочности и Mn/U;

2. Предложен алгоритм разделения континентальных, морских и переходных фаций на основании установленных петрогеохимических неоднородностей, обусловленных изменением условий осадконакопления;

3. Диагностирован эстуарный режим седиментации. Выявлена связь петрогеохимических вариаций с геоморфологическим и гидродинамическим режимами эстуарного бассейна. Установлена эволюция эстуарного бассейна: приливного типа (ПК₂²–ПК₂¹) – приливно-волновой тип (ПК₁³) – волнового типа (ПК₁² + ПК₁¹).

Практическая значимость.

1. На примере верхнемеловых резервуаров Ваньеганского нефтегазового месторождения установлен комплекс геохимических индикаторных характеристик для построения седиментационных моделей формирования терригенных коллекторов углеводородов;

2. Предложен алгоритм фациальных и палеогеографических реконструкций, применимый в условиях шламowego опробования нефтегазовых скважин.

Апробация работы.

Основные материалы диссертации докладывались и обсуждались на мероприятиях регионального, общероссийского и международного уровней: на III научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Комплексное изучение и оценка месторождений твердых полезных ископаемых» (Москва, 2011); на конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2011), на 6th International Siberian Early Career GeoScientists Conference (Новосибирск, 2012); на VI открытой региональной молодёжной конференции ОАО «ТомскНИПИнефть» «Проблемы разведки, разработки и обустройства месторождений нефти и газа» (Томск, 2013); на III Международной научно-практической конференции молодых

ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского (Санкт-Петербург, 2013); на II всероссийской молодежной научно-практической школе-конференции «Науки о Земле. Современное состояние» (Хакасия, 2014), на VIII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Геология в развивающемся мире» (Пермь, 2015), на XIX международном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2015), 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM (Bulgaria, 2015)

По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 3 в журналах, рекомендованных перечнем ВАК Минобрнауки России, и 3 в международных журналах.

Работа выполнялась на кафедре петрографии Томского государственного университета. Аналитические работы проводились в Центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» ТГУ (ЦКП АЦГПС) и лаборатории BIO-GEO-CLIM, созданной по Постановлению Правительства Российской Федерации № 220 от 09 апреля 2010 г. по договору с Министерством образования и науки Российской Федерации № 14.В25.31.0001 от 24 июня 2013 г.

Реализация и личный вклад.

Автором изучены разрезы и проведен отбор проб по скважинам №№ 1002, 2010, 2031, 3618, 2050 Ваньеганской структуры и выполнена их подготовка к аналитическим исследованиям. Автором изучена вещественная характеристика пород по 43 шлифам. Автором самостоятельно выполнена интерпретация литогеохимических данных на основе математической обработки результатов рентгенофлуоресцентного и ИСП-МС анализов в пакете программ «STATISTICA», а также разработана схема корреляции для группы пластов ПК₁₋₂ на основании литогеохимических показателей и определены петрогеохимические фации. Автором разработана схема диагностики и алгоритм разделения петрогеохимических фаций в зависимости от условий осадконакопления.

Достоверность результатов работы.

Аналитические работы выполнены в ЦКП АЦГПС ТГУ, представленном в системе аккредитации аналитических лабораторий (Аттестат РОСС RU.0001.517686). Надежность построений базируется на комплексном минералого-геохимическом подходе, предполагающем применение прецизионных аналитических методов и последующей обработке результатов с использованием аппарата математической статистики. Достоверность представленных геохимических реконструкций подтверждается сопоставимостью полученных выводов с результатами палеонтологических, циклостратиграфических и электрофациальных исследований (Александрова и др., 2010; Космыгин, 2011; Подобина, 2012; Белозеров, 2012).

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 197 наименований (на 20 страницах). Материал диссертации изложен на 195 страницах, содержит 10 таблиц, 64 рисунков и включает 9 приложений (на 32 страницах).

Благодарности.

Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации: государственное задание № 2282.

Автор выражает признательность научному руководителю к.г.-м.н., доценту кафедры петрографии И.Ф. Гертнеру за постоянную поддержку при выполнении работы. Автор благодарит директора ЦКП АЦГПС к.г.-м.н. П.А. Тишину за

всестороннее содействие при выполнении работы; к.г.-м.н., доцента кафедры петрографии О.В. Бетхер за помощь и советы при проведении литофациального анализа и петрографических исследований шлифов; к.г.-м.н. Т.С. Неберу за помощь при расшифровке рентгенограмм, инженера-исследователя Е.А. Тишину, А.В. Файнгерца, к.г.-м.н. А.Л. Архипова за помощь в подготовке графического материала, к.г.-м.н. Е.М. Асочакову за участие в обсуждении и помощь при оформлении диссертации, сотрудников ИНГГ СО РАН к.г.-м.н. П.А. Яна и к.г.-м.н. Л.Г. Вакуленко за конструктивную критику и замечания. Автор выражает благодарность д.г.-м.н. В.Б. Белозерову, к.г.-м.н. Н.М. Недоливко, к.г.-м.н. Е.А. Жуковской, к.г.-м.н. О.М. Гриневу, д.г.-м.н. В.М. Подобиной, к.г.-м.н. Г.М. Татьянину, д.г.-м.н. В.П. Парначеву, к.г.-м.н. Д.А. Ивлеву, к.г.-м.н. А.И. Кудаманову за консультации и ценные советы при выполнении отдельных глав диссертации, а также всех сотрудников ЦКП АЦГПС.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена геологическому строению Ваньеганской структуры. *Во второй главе* рассмотрены особенности изменения морфологии песчаных тел пластов ПК₁₋₂ (покурская свита), структурно-текстурные и фациальные особенности, описана латеральная зональность. *В третьей главе* приведены результаты литологических и петрогеохимических исследований. *Четвертая глава* посвящена геохимическим особенностям исследуемого разреза и описана вертикальная геохимическая зональность. *В пятой главе* на основании распределения значений петро- и геохимических параметров в разрезе обоснован алгоритм выделения фаций и реконструированы обстановки осадконакопления пластов ПК₁₋₂.

Характеристика объекта исследований

Ваньеганская структура является структурой III порядка и находится в южной части Варьеганского вала, входящего в систему Варьеганско-Пурпейской антиклинальной зоны Ямало-Тазовской мегасинеклизы (Сурков, Жеро, 1981; Нестеров, 1990). В геологическом строении Ваньеганской структуры принимают участие породы палеозойского складчатого фундамента, промежуточного комплекса триасового возраста и терригенные песчано-глинистые отложения платформенного мезозойско-кайнозойского осадочного чехла (Семенов, 2005; Рудаковская, 2004; Постников, Карпов, 2007).

Объектом изучения является группа пластов ПК₁₋₂ (покурская свита) верхнесеноманского возраста, палеогеографически приуроченная к границе северо-западной морской и юго-восточной континентальной зон Западно-Сибирского бассейна (Корепанова, 1976; Ронов, 1989; Конторович, 2000, 2014). Разрез фрагмента свиты сложен неравномерным переслаиванием песков, слабосцементированных песчаников, глин, известняков. Для пород покурской свиты характерен обильный растительный детрит, обугленные обрывки растений, включения пирита, конкреции сидерита. В 2012 году В.М. Подобиной были проведены микропалеонтологические исследования, по результатам которых в пределах изученного разреза было выделено три зоны фораминифер: *Saccamina micra*, *Ammomarginulina sibirica* (K₂cm¹₂), *Gaudryinopsis nanushukensis elongates* (K₂cm²₂) и *Trochammina wetteri tumida*, *Verneulinoides kansasensis* (K₂cm²₂).

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Положение 1. Геохимическая и петрохимическая неоднородность литологических разновидностей исследуемого разреза обусловлена характером распределения аутигенных и аллотигенных минералов.

На основании петрографических исследований было выделено 6 основных литотипов:

1. песчаники с глинистым цементом;
2. песчаники с карбонатным цементом;
3. алевролиты с глинистым цементом;
4. алевролиты с карбонатным цементом;
5. глины;
6. карбонатолиты.

Минеральный состав выделенных литотипов определяется вариациями трех минеральных комплексов. Первая - терригенная представлена кварцем, полевыми шпатами, плагиоклазами, обломками пород, акцессорными минералами (рутил, циркон, турмалин, апатит); вторая – переходная, включающая в себя аллотигенные и аутигенные глинистые минералы. По результатам РСА было выделено три ассоциации глинистых минералов: каолинит-монтмориллонитовая, хлорит-каолинит-гидрослюдистая, иллит-каолинит-хлорит-монтмориллонитовая. Третья – аутигенная минерализация, представленная диа- и эпигенетическим сидеритом, кальцитом, родохрозитом и франколитом.

Согласно литохимической классификации, предложенной Юдовичем Я.Э. и Кетрис М.П. (2011), среди изученных пород выделяется сиалиты и их железистые аналоги, карбонатолиты и карбонатизированные образования, которые отличаются друг от друга по содержанию SiO_2 , CaO и Fe_2O_3 . В виду близости химического состава осадков, рассмотренная систематика (Юдович, 2011) не отражает всего разнообразия выделенных литотипов. Поэтому для более достоверной диагностики неоднородности изученных осадков был проведен кластерный анализ, который по содержанию кремнезема позволяет выделить четыре кластера: 1) аномальнонизкокремнистый ($\text{SiO}_2=1-41\%$); 2) низкокремнистый ($\text{SiO}_2=42-54\%$); 3) умереннокремнистый ($\text{SiO}_2=53-62\%$), по вариациям глинозема и окислов железа выделяется 4 субкластера: П-IIIa – железистый глиноземистый, П-IIIb –железистый, низкоглиноземистый; П-IIIc – слабо железистый, глиноземистый, П-IIId –слабо железистый, низкоглиноземистый; 4) высококремнистый ($\text{SiO}_2=63,2-74,9\%$), которые объединяют основные петрографические разновидности и отражают литологическую типизацию разреза (табл. 1).

Аномальнонизкокремнистые породы (петрохимический кластер - П-I) отличаются высокими концентрациями оксида кальция, железа, марганца и фосфора (табл. 1). Данная группа объединяет 7 проб, представленных карбонатолитами и интенсивно карбонатизированными алевролитами и песчаниками. Низкокремнистые образования (П-II) характеризуются повышенными содержаниями железа и алюминия (табл. 1). Данная группа объединяет в себя 5 проб, представленных глинами преимущественно монтмориллонитового состава. Основной объем выборки (101 проба) приходится на группу умереннокремнистых пород (П-III), которая включает в себя глины, алевролиты и песчаники. Высококремнистые образования (П-IV), объединяющие 11 проб, представлены наиболее зрелыми образованиями – песчаниками с глинистым цементом ($\text{Al}_2\text{O}_3=15,1-22,1\%$).

Таблица 1 – Результаты кластерного анализа по петрогенным оксидам

Кластер	№	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	ППП
I	7	<u>1,00-41,30</u> 24,27 (27,91)	<u>4,62-11,79</u> 8,03 (6,84)	<u>1,00-12,57</u> 5,45 (4,74)	<u>15,63-36,59</u> 29,80 (32,63)	<u>0,22-2,11</u> 1,41 (1,58)	<u>9,50-28,70</u> 19,79 (19,14)
II	5	<u>46,24-54,10</u> 49,60 (48,95)	<u>15,65-21,99</u> 18,06 (17,24)	<u>4,11-20,74</u> 10,52(10,11)	<u>0,21-2,12</u> 1,42 (1,61)	<u>1,60-3,66</u> 2,23 (2,01)	<u>8,27-24,50</u> 13,47 (11,51)
III	IIIa	6	<u>53,47-58,05</u> 56,02 (56,18)	<u>22,52-23,13</u> 22,83 (22,82)	<u>5,47-8,22</u> 6,87(6,71)	<u>0,18-0,85</u> 0,39(0,29)	<u>0,93-2,57</u> 2,06 (2,34)
	IIIb	36	<u>53,80-58,36</u> 55,92 (55,96)	<u>17,94-20,72</u> 19,68 (19,80)	<u>5,59-9,99</u> 8,19 (8,31)	<u>0,19-1,31</u> 0,80 (0,83)	<u>1,58-3,86</u> 2,62 (2,55)
	IIIc	12	<u>58,04-61,86</u> 59,98 (59,75)	<u>21,55-25,57</u> 23,23 (22,89)	<u>2,93-5,19</u> 4,17 (4,20)	<u>0,08-0,49</u> 0,25 (0,22)	<u>1,01-2,19</u> 1,82 (1,95)
	IIId	47	<u>57,37-62,36</u> 59,98 (59,94)	<u>16,65-22,58</u> 20,02 (20,23)	<u>2,93-7,73</u> 5,83 (5,90)	<u>0,11-0,96</u> 0,45 (0,44)	<u>1,28-3,79</u> 2,34 (2,39)
IV	11	<u>63,15-74,87</u> 66,74 (64,82)	<u>15,11-22,12</u> 18,20 (18,79)	<u>1,96-7,96</u> 3,91 (3,45)	<u>0,06-0,46</u> 0,24 (0,20)	<u>0,41-2,64</u> 1,88 (2,13)	<u>4,37-8,03</u> 6,08 (6,04)
Примечание: числитель: минимальное и максимальное значения; знаменатель: среднее и медианное значения							

Для реконструкции условий седиментации аналогичное ранжирование выборки было проведено для геохимических индикаторов (Sr/Ba, Ce/Ce*, Eu/Eu*, La/Yb, U/Th, Fe/Mn, Mn/U, Ti/Zr, Σ TR, SiO₂/Fe₂O₃), отражающих фациально-генетические характеристики. При этом максимальная дискретность устанавливается для Mn/U, Σ TR, Fe/Mn. На основании кластерного анализа было выделено четыре кластера по значениям Mn/U отношения (табл. 2): 1) аномальновысокомарганцевые (Mn/U = 930-5045); 2) высокомарганцевые (Mn/U = 371-739); 3) умеренномарганцевые (Mn/U = 78-312), внутри данного кластера по величине Mn/U, Σ TR обособляются четыре субкластера IIIa – пониженные значения Mn/U, низкоредкоземельные, IIIb – пониженные значения Mn/U, высокоредкоземельные, IIIc – более высокое содержание Mn/U, умеренно-редкоземельный, IIId – более высокое содержание Mn/U, понижено-редкоземельный; 4) низкомарганцевые (Mn/U = 17-180), устанавливается дифференциация по уровню накопления РЗЭ с выделением IVa – высоко- и IVb – умеренно-редкоземельные породы.

Первый геохимический кластер (Г-I) с аномально высоким содержанием марганца (Mn = 1079-7000 г/т) объединяет 9 проб, представленных карбонатолитами и интенсивно карбонатизированными алевролитами. Второй кластер (Г-II) – высокомарганцевистых образований включает в себя 14 проб, отвечающих сидеритизированным и карбонатизированным песчаным и алевро-глинистым породам. Третий кластер – умеренномарганцевых пород – Г-III, включающий в себя 56 проб, объединяющих песчаные, алевролитовые и глинистые породы, которые слабо подвержены карбонатизации. Четвертый кластер (Г-IV) – низкомарганцевые породы (36 проб), представленные алевро – песчаными и алевро – глинистыми породами с присутствием сингенетических карбонатов.

Проведенная литогеохимическая типизация позволяет разделить исследуемую выборку по химическому составу, обусловленному соотношением различных минеральных комплексов, и по уровню карбонатизации (рис. 1).

На основании анализов микроэлементного и химического составов, можно сделать вывод, что петрохимическая неоднородность отражает особенности минерального состава, выраженные в поведении SiO₂ и П.П.П. Также обнаружена зависимость от Fe₂O₃ и Al₂O₃, при этом оксид железа, возможно, отвечает палеофациальным уровням, а Al₂O₃ отражает цикличность условий седиментации. Геохимическая неоднородность, в основном, определяется процессами син- и эпигенетической карбонатизации (Mn/U, Fe/Mn), в меньшей степени дифференциацией осадочного материала (Σ TR).

Таблица № 2 – Результаты кластерного анализа по геохимическим индикаторам.

Показатель	I (n = 9)	II (n = 15)	III (56)				IV (46)	
			IIIa (n = 9)	IIIb (n = 15)	IIIc (n = 12)	IIId (n = 20)	IVa(n=7)	IVb(n=39)
TR	63,59-174,12 117,03(115,21)	63,15-178,83 108,97 (96,50)	58,45-106,27 89,81(98,38)	164,67-205,47 187,97(189,15)	152,69-198,02 177,06(180,47)	73,51-167,12 136,89(142,89)	209,45-325,91 256,22(228,30)	34,65-185,74 122,87(126,20)
Ce/Ce*	0,99-1,45 1,16 (1,10)	0,85-1,74 1,20 (1,17)	1,00-1,51 1,18(1,18)	1,00-1,24 1,10(1,09)	0,90-1,15 1,06(1,08)	0,90-1,97 1,15(1,07)	0,96-1,40 1,19(1,09)	0,89-1,50 1,12(1,11)
Eu/Eu*	0,61-0,72 0,66 (0,66)	0,62-0,72 0,67 (0,66)	0,56-0,75 0,67(0,66)	0,62-0,74 0,69(0,68)	0,65-0,79 0,70(0,70)	0,62-0,78 0,69(0,69)	0,66-0,78 0,71(0,70)	0,54-0,80 0,70(0,70)
La/Yb	7,61-11,24 9,65 (9,89)	7,09-14,00 10,26(10,13)	8,94-17,72 12,13(11,37)	10,00-16,24 13,73(13,85)	11,47-14,16 12,91(12,90)	7,98-15,09 12,08(12,35)	11,57-20,51 16,04(15,20)	7,08-18,33 12,28(12,01)
Sr/Ba	0,25-0,64 0,40 (0,37)	0,19-0,50 0,33 (0,33)	0,20-0,64 0,36(0,32)	0,15-0,38 0,30(0,30)	0,24-0,38 0,30(0,30)	0,13-0,43 0,26(0,28)	0,13-0,51 0,28(0,23)	0,12-0,71 0,35(0,35)
U/Th	0,23-0,70 0,36(0,27)	0,25-0,63 0,38(0,35)	0,28-0,68 0,41(0,36)	0,23-0,41 0,35(0,35)	0,29-0,37 0,34(0,35)	0,28-0,70 0,39(0,34)	0,21-0,55 0,41(0,41)	0,12-0,79 0,38(0,35)
Fe/Mn	5,08-41,91 20,29 (17,07)	17,90-46,47 31,50(28,96)	21,31-97,87 54,30(52,26)	37,67-79,20 54,31(54,31)	25,61-49,42 36,70(36,71)	15,29-35,54 30,30(31,03)	45,22-142,52 97,14(99,34)	39,67-168,40 94,03(93,96)
SiO ₂ / Fe ₂ O ₃	2,23-8,40 5,83 (6,34)	4,64-14,02 7,85(8,07)	8,02-19,82 11,84(10,60)	5,64-19,82 10,32(9,92)	5,96-10,98 8,27(8,20)	5,46-12,62 7,11(6,83)	4,79-21,16 12,52(13,68)	7,77-36,60 14,15(12,05)
Mn/U	959,91-2216,70 1379,37(1170,43)	371,27-595,41 471,14(438,61)	107,95-137,92 124,59(126,46)	77,80-158,16 115,84(124,98)	133,69-227,46 180,69(179,89)	218,09-311,77 265,28(269,67)	21,51-180,0 62,55(40,97)	16,95-101,02 61,40(62,54)
Ti/Zr	36,24-44,65 39,41 (38,36)	32,51-54,82 42,61(40,52)	32,94-45,63 40,26(40,62)	32,94-54,82 41,08(40,50)	35,96-51,52 42,34(41,12)	33,89-52,99 41,03(40,17)	37,06-50,82 41,71(39,61)	31,70-56,23 42,43(42,08)

Примечание: числитель: минимальное и максимальное значения; знаменатель: среднее и медианное значения

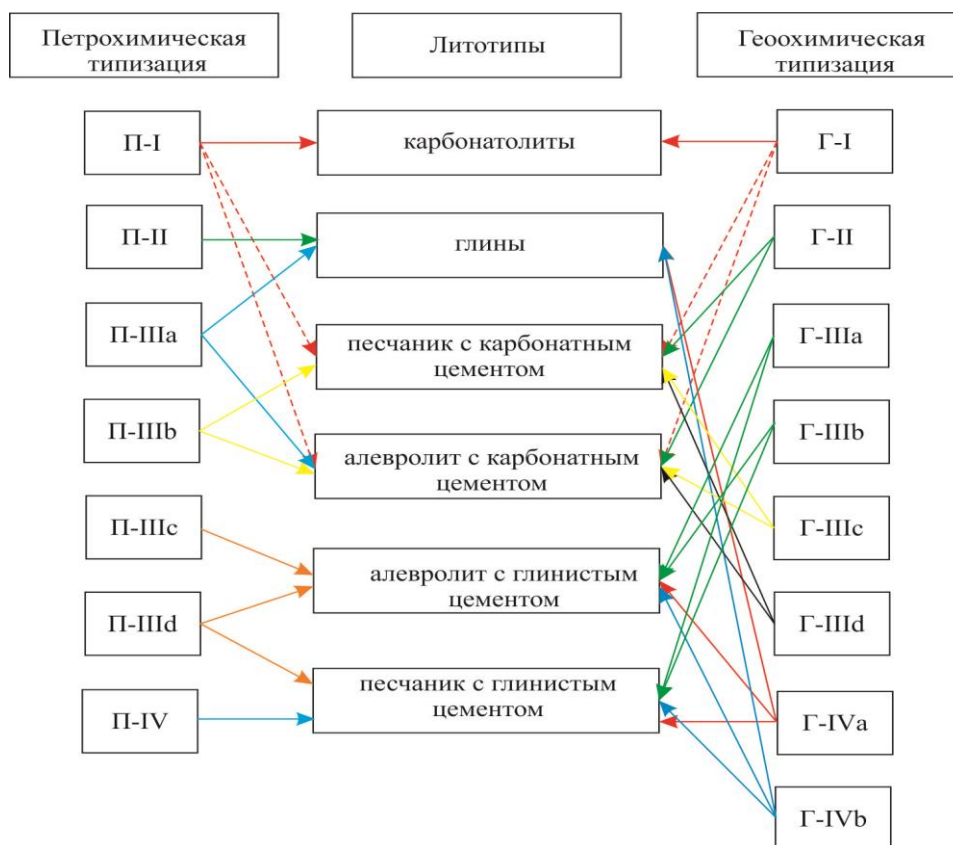


Рисунок 1 – Схема соответствия литотипов с петро- и геохимической типизацией

При анализе распределения выделенных кластеров по разрезу была обнаружена цикличность, выявленная положением высокоглиноземистых и высокожелезистых пород, что фиксирует фациальную неоднородность исследуемого фрагмента, связанную со сменой условий осадконакопления. Положение первого и второго геохимических кластеров, отмечается их приуроченность к пограничным зонам пачек и интервалы глинистой перемычки. Нахождение третьего и четвертого кластеров позволяют фиксировать цикличность, выраженную в увеличении содержаний РЗЭ вверх по разрезу.

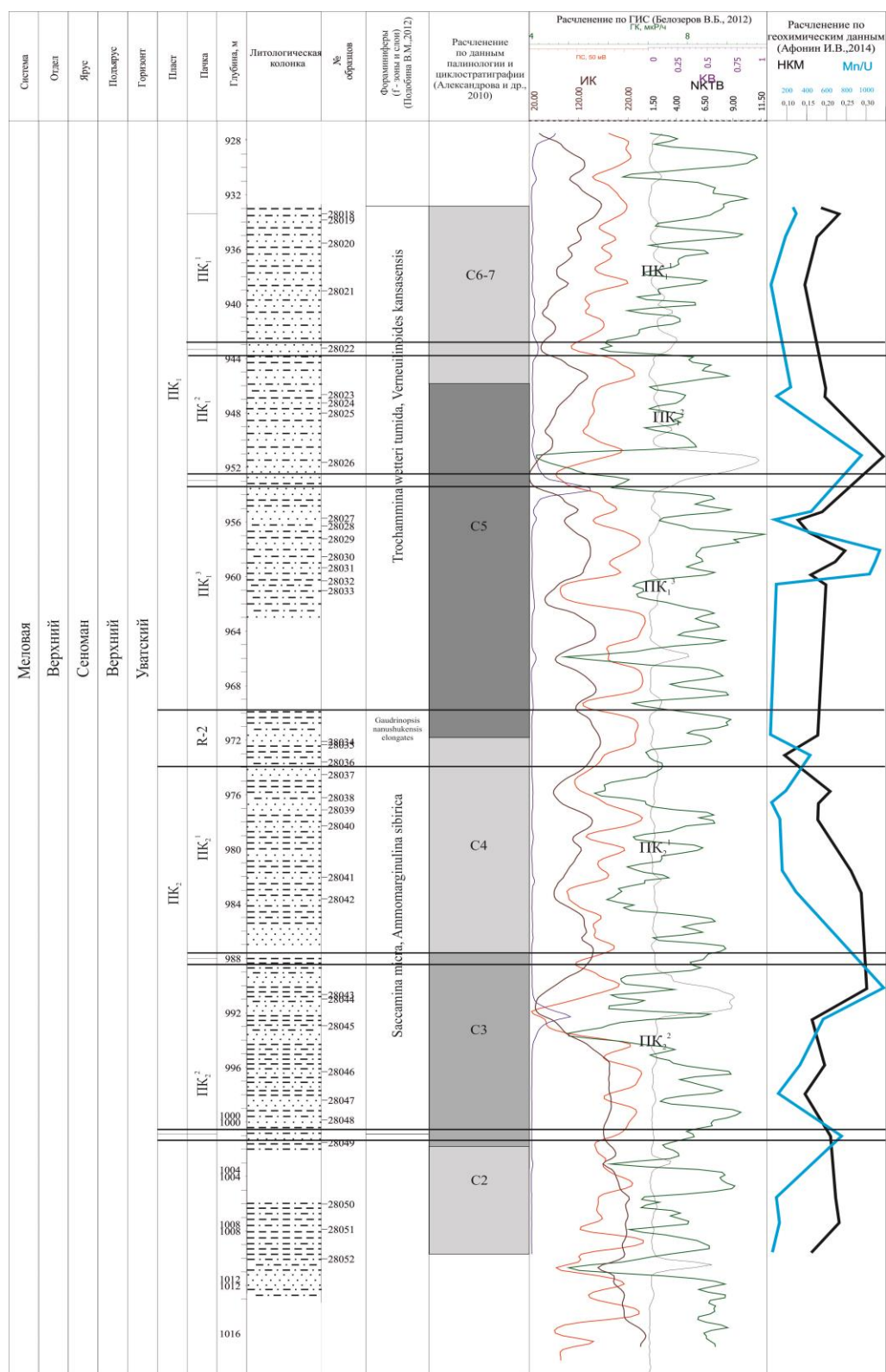
Положение 2. Вертикальная геохимическая неоднородность отложений носит циклический характер, выраженный в распределении по разрезу Mn/U и модуля НКМ, и отражает вариации активности CO₂ и поступательную смену нормативных ассоциаций хлорит-каолинит на иллит-монтмориллонитовую в режиме общей трансгрессии.

Циклический характер разреза подчеркивается предыдущими исследователями. Г.Н. Александровой с соавторами (2010) проводились комплексные литофациальные и палинологические исследования покурской свиты. Установлено, что пласты ПК₂₋₆ (поздний альб) соответствуют зоне денудационной равнины аллювиально - дельтового генезиса, представляет собой застойные маршево-болотные иногда эстуарные и локально русловые условия. Отложения сеномана (пласт ПК₁) в основном формировались в сильнообводненных прибрежно-дельтовых обстановках. На отдельных стратиграфических уровнях были установлены прибрежно-морские солоновато-водные (баровые, озерно-лагунные) и эстуарные обстановки. Расчленение разреза проводилось методом циклостратиграфии, по результатам которой было выделено 8 трансгрессивно-регрессивных макроциклов С1-С8: к альбским отложениям относятся макроциклиты С1-С4, к сеноманским – С5-С7, к сеноман-туронским – С8 (рис. 2).

Позднее В.Б. Белозеровым (2012) была предпринята попытка расчленения осадочных толщ Ваньеганской структуры на основании выделения в разрезе скважин коррелятивных маркирующих горизонтов, имеющих индивидуальные литологические и геолого-геофизические характеристики. На основании вариаций петрофизических свойств основных литотипов и глинистых минералов, сформированных в различных обстановках, установлены особенности распределения сигналов ПС, ИК, ГК (самопроизвольная поляризация, индукционный каротаж, гамма-каротаж), способствовавших расчленению и корреляции разрезов. По результатам этих работ в объеме пласта ПК₁ было выделено три литологических пачки (ПК₁¹, ПК₁² и ПК₁³), а в составе пласта ПК₂ – две (ПК₂¹ и ПК₂²). Показано формирование верхов покурской свиты в условиях деструктивной дельты эстуариевого типа.

При сопоставлении корреляционных схем, предложенных в работах Г.Н. Александровой с соавторами (2010), В.Б. Белозерова (2012) отмечается соответствие пласта ПК₂ макроциклитам С3-С4, а пласта ПК₁ – макроциклитам С5-С7 (рис. 2). При этом объемы макроциклов С3-С7, в целом, соответствуют объемам пачек ПК₁¹, ПК₁², ПК₁³, ПК₂¹ и ПК₂², выделяемых В.Б. Белозеровым (2012).

Как отмечалось выше, характер распределения основных петрогеохимических индикаторов в изученных разрезах демонстрирует полициклический характер их изменения. Наиболее наглядно это проявлено в распределении Mn/U (индикатор карбонатизации), резкие повышения значений которого контролируют границы литогеохимических циклов разного порядка. Это может быть связано с изменениями солености бассейна и/или снижения гидродинамической активности. 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 критериев. В качестве таких функций рассматриваются медианы по всей изученной выборке, для НКМ она составляет 0,22, а для Mn/U – 147.



Условные обозначения:

... - песчаники --- - алевролиты --- - глины □ - нет керна

Рисунок 2 – Разрез верхнесеноманских отложений покурской свиты (ПК₁₋₂) на примере скважины № 2010

При этом медианное значение НКМ приближается к генетической границе перехода от хлорит-каолинитовой к иллит-монтмориллонитовой ассоциации ~ 0,2, следовательно 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, то в качестве генетической нагрузки данного отношения рассматривается активность CO_2 .

Учитывая, что во многом вариации данного отношения могут определяться эпигенетическими преобразованиями, для более четкой идентификации циклов, наряду с ним был использован модуль нормативной щелочности (НКМ). Вертикальная изменчивость численных значений данных показателей в колонке исследуемых скважин позволяет задать 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 мегациклических ассоциаций, объединяющих несколько циклов первого порядка и обладающих единой тенденцией вариативности геохимических параметров.

Применение данного подхода к диагностике разреза верхней части покурской свиты, подчеркивает циклический характер его геохимической неоднородности, с ярко выраженной контрастностью границ циклов разных порядков. При этом границы циклов высоких порядков подчеркиваются возрастанием значений (> 370) отношения Mn/U , на фоне усиления степени карбонатизации пород. Структура макроциклитов подчеркивается наличием в основании высококремнистых осадков с нормативным монтмориллонит-каолининовым ($\text{НКМ} < 0,2$) составом глинистой составляющей, который вверх по разрезу сменяется иллит-монтмориллонитовым ($\text{НКМ} > 0,22$) профилем, что может отражать усиление роли морского режима седиментации.

Определенные закономерности устанавливаются при распределении в разрезах геохимических циклов, выделенных петро- и геохимических кластеров. Как правило, в их основании преобладают высококремнистые и маложелезистые породы (кластеры П-IV, П-IIIb, реже П-IIIa) и с низкими значениями Mn/U и высоким уровнем накопления редких земель (кластер Г-IVa, Г-IVa). Вверх по разрезу устанавливается статистическое обогащение пород железом (кластеры П-IIIc, П-IIIId), на фоне роста Mn/U и уровня накопления лантаноидов (Г-III). Кровли циклов, как правило, представлены карбонатизированными и сидеритизированными породами (кластеры П-I, П-II) с аномально высокими значениями Mn/U (кластеры Г-I, Г-II).

Установленные закономерности изменения состава осадков предполагают, что формирование циклических разрезов обусловлено фаціальными вариациями гидродинамической активности в прибрежно-морской зоне, на фоне общей трансгрессии. Данный вывод подтверждается проявлениями аномальной карбонатизации в кровлях циклов, и основными закономерностями изменения петрогеохимических особенностей в верхнесеноманском разрезе Ваньеганской структуры. Циклические вариации подчеркиваются распределением в разрезе значений $\sum \text{TR}$, Mn/U и глинистых минералов. Общие тенденции выражаются в поступательном росте медианных значений Al_2O_3 и Fe_2O_3 в ряду $\text{ПК}_2^2 - \text{ПК}_2^1 - \text{ПК}_1^3 - \text{ПК}_1^2 + \text{ПК}_1^1$.

Установленные при этом пять литогеохимических мегациклов, по своему объему сопоставимы с мегациклитами С3-С7, выделенными Г.Н. Александровой и др. (2010 г.), а их границы соответствуют положению реперных литологических единиц по В.Б. Белозерову (2012 г.) (рис. 2,3).

Двойственность выделения границ и перекрытия значений индикаторных отношений в различных стратиграфических пачках предположительно связываются с латеральной фаціальной неоднородностью бассейна.

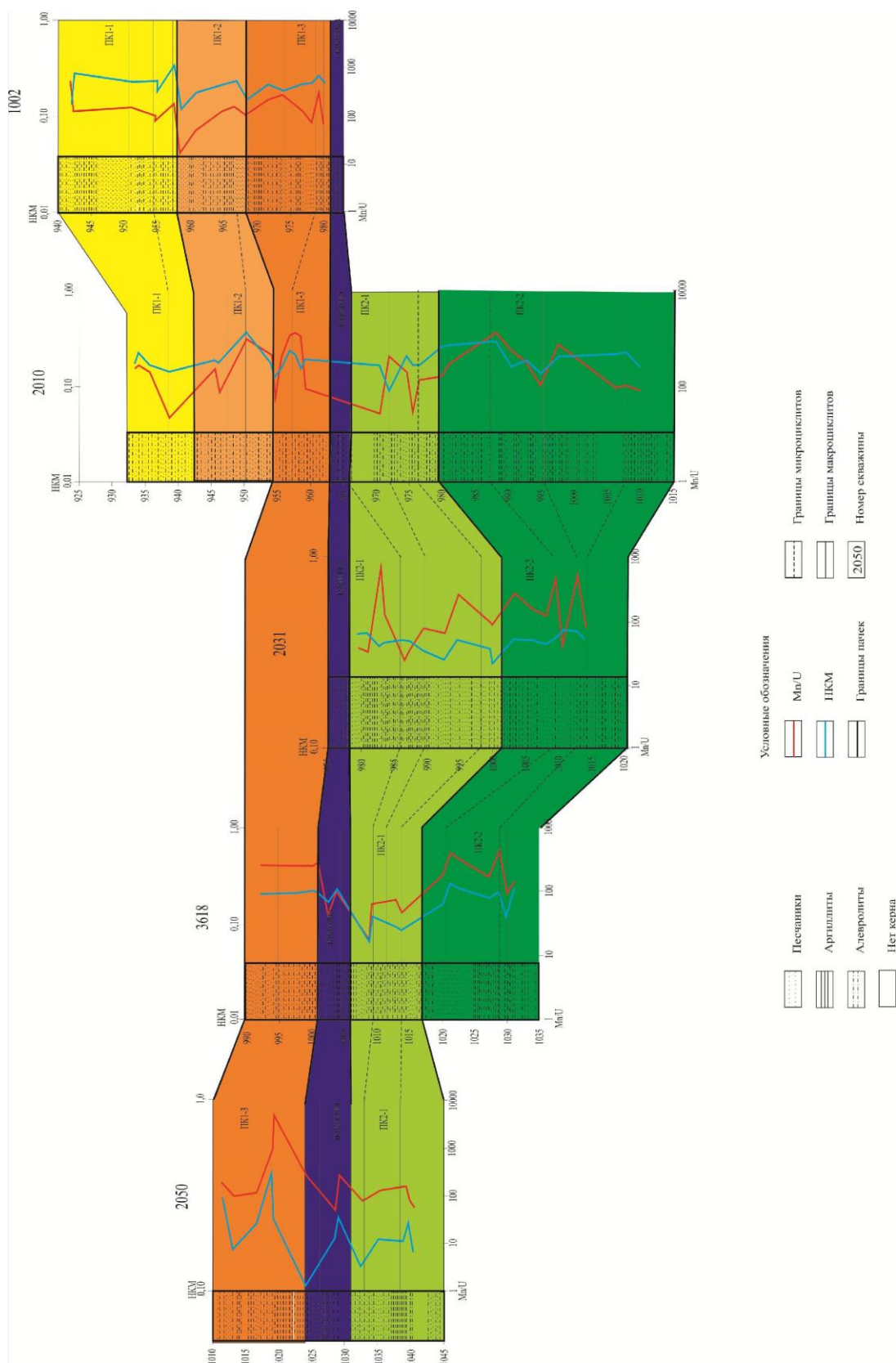


Рисунок 3 – Сводная корреляция разрезов по пачкам PK₂², PK₂¹, PK₁³, PK₁², PK₁¹ Ваньеганской структуры
 Примечание: цветами показаны пачки: темно-зеленый – PK₂²; светло-зеленый – PK₂¹; темно-синий – перемычка, темно-оранжевый – PK₁³; светло-оранжевый – PK₁²; желтый – PK₁¹

Положение 3. Статистические вариации петрогеохимических характеристик осадков позволяют на качественном уровне разделять морские, континентальные и прибрежно-морские фации. На основании их пространственного распределения было установлено, что осадки были сформированы в палеоэстуарном бассейне, который характеризуется последовательной сменой приливного, приливно-волнового и волнового режимов.

Проведенные выше результаты показали, что в пределах Ваньеганской структуры петрогеохимическая неоднородность разреза верхней части покурской свиты выражается в полициклических изменениях уровня концентраций марганца, кремния, железа, кальция, алюминия, редкоземельных элементов и целого ряда литохимических модулей и отношений. При этом значимая вариативность геохимических характеристик на небольшой площади в ограниченный временной интервал в большей степени определяется механизмами и физико-химическими параметрами осадконакопления и, в меньшей степени, удаленностью источников сноса терригенного материала.

Для диагностики неоднородности распределения петрогенных окислов был использован факторный анализ, по результатам которого было выделено 4 основных фактора (табл. 3).

Первый (ПФ1) – отражает обратные зависимости между SiO_2 (основной аллотигенный компонент) и окислами когерентными фосфатам и карбонатам P_2O_5 , CaO , MnO , Fe_2O_3 . Это позволяет интерпретировать его как индикатор интенсивности карбонатизации песчаных и алевроито-глинистых осадков. Наблюдаемые при этом значимые нагрузки K_2O (0,65) и Na_2O (0,57) указывают на высокую активность щелочей при развитии аутигенной минерализации, подчеркивая морской режим седиментации.

Таблица 3 – Результаты факторного анализа петрогенных оксидов.

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	MnO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	ППП	%
ПФ1	-0,77	0,39	-0,21	0,89	0,27	0,82	0,74	0,57	0,65	0,90	0,23	37
ПФ2	0,05	-0,82	-0,43	-0,11	0,74	0,31	-0,58	0,05	0,43	0,02	0,09	17
ПФ3	-0,60	-0,17	0,47	-0,02	0,04	-0,05	-0,11	-0,29	-0,09	-0,15	0,80	13
ПФ4	-0,18	-0,18	0,71	-0,03	-0,03	-0,07	-0,13	0,3	0,36	-0,03	-0,47	9

$$\begin{aligned} \text{ПФ1} &= \frac{\text{P}_2\text{O}_{5(0,9)} \text{Fe}_2\text{O}_{3(0,89)} \text{MnO}_{(0,74)} \text{K}_2\text{O}_{(0,65)} \text{Na}_2\text{O}_{(0,57)}}{\text{SiO}_{2(0,77)}} & \text{ПФ2} &= \frac{\text{MgO}_{(0,74)} \text{K}_2\text{O}_{(0,43)}}{\text{TiO}_{2(0,82)} \text{MnO}_{(0,58)} \text{Al}_2\text{O}_{3(0,43)}} \\ \text{ПФ3} &= \frac{\text{П.П.П.}_{(0,80)} \text{Al}_2\text{O}_{3(0,47)}}{\text{SiO}_{2(0,60)}} & \text{ПФ4} &= \frac{\text{Al}_2\text{O}_{3(0,72)} \text{K}_2\text{O}_{(0,36)} \text{Na}_2\text{O}_{(0,30)}}{\text{П.П.П.}_{(0,47)}} \end{aligned}$$

Второй фактор (ПФ2) определяется обратным накоплением оксидов магния, кальция и калия по отношению к MnO , TiO_2 , Al_2O_3 . При этом положительная часть отвечает развитию монтмориллонита и карбонатов, а отрицательная каолиниту, магнетиту и рутилу. Подобная структура предполагает латеральную дифференциацию осадков в зоне перехода суша - море.

Третий фактор (ПФ3) фиксируется обратной зависимостью Al_2O_3 , П.П.П. по отношению к SiO_2 . Он отражает соотношение в осадках обломочной и глинистой составляющих, отвечая кварцевому и каолинит-гидрослюдистому парагенезисам.

Структура четвертого фактора (ПФ4) связывается с обратной зависимостью элементов когерентных полевым шпатам Al , Na , K по отношению к величине П.П.П., определяя развитие ассоциаций полевые шпаты и глинистые минералы. Она позволяет интерпретировать ее как отражение степени выветривания или результат рециклинга осадков.

Таким образом, на основании вышесказанного можно заключить, что петрохимическая и литологическая неоднородность разреза связана с формированием различных минеральных комплексов, характеризующих определенные условия их образования.

С целью уточнения влияния фациально–генетических условий седиментации на особенности состава осадков был проведен факторный анализ распределения ключевых

геохимических отношений (Sr/Ba, Ce/Ce*, Eu/Eu*, La/Yb, U/Th, Fe/Mn, Mn/U, Ti/Zr, Σ TR, SiO₂/Fe₂O₃). Структура четырёх факторов, определяющих 82 % неоднородности выборки приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты факторного анализа геохимических индикаторов

	Σ TR	Ce/Ce*	La/Yb	Sr/Ba	U/Th	Fe/Mn	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	Mn/U	Ti/Zr	Gd/La	Gd/Yb	%
ГФ1	0,81	-0,23	0,89	-0,24	-0,19	0,09	0,06	-0,42	0,01	-0,19	0,90	34
ГФ2	0,39	-0,14	-0,22	0,46	-0,47	-0,34	-0,82	0,46	-0,40	0,82	0,27	22
ГФ3	0,07	0,48	0,17	-0,39	0,54	-0,75	-0,30	0,42	0,33	-0,08	0,13	14
ГФ4	0,00	0,74	0,06	0,56	0,45	0,40	-0,06	-0,21	-0,14	0,13	0,13	12

$$\Gamma\Phi 1 = \frac{\text{Gd/Yb}_{(0,9)} \text{La/Yb}_{(0,89)} \Sigma\text{TR}_{(0,81)} \text{Eu/Eu}^*_{(0,5)}}{\text{Mn/U}_{(0,42)}} \quad \Gamma\Phi 2 = \frac{\text{Gd/La}_{(0,82)} \text{Mn/U}_{(0,46)} \text{Sr/Ba}_{(0,46)}}{\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3_{(0,82)} \text{U/Th}_{(0,47)} \text{Ti/Zr}_{(0,48)}}$$

$$\Gamma\Phi 3 = \frac{\text{U/Th}_{(0,54)} \text{Ce/Ce}^*_{(0,48)} \text{Mn/U}_{(0,42)}}{\text{Fe/Mn}_{(0,75)} \text{Sr/Ba}_{(0,47)}} \quad \Gamma\Phi 4 = \frac{\text{Ce/Ce}^*_{(0,74)} \text{Sr/Ba}_{(0,56)} \text{U/Th}_{(0,45)} \text{Fe/Mn}_{(0,40)}}{\text{Mn/U}_{(0,21)}}$$

Первый фактор (ГФ1) характеризуется обратной корреляцией Mn/U по отношению к показателям Σ TR + La/Yb + Gd/Yb. При этом Mn/U фиксирует активность CO₂ и, как следствие, проявление карбонатизации (Мейнард, 1985). Комплекс Σ TR + La/Yb + Gd/Yb отвечает уровню накопления РЗЭ в процессе дифференциации обломочного материала (Балашов, 1976; Дубинин, 2006; Шатров, 2008). Подобная структура может быть интерпретирована как соотношение хемогенной и терригенной составляющей в породах. Второй фактор (ГФ2) выражен в обратной корреляции двух комплексов: Gd/La + Sr/Ba + Mn/U и U/Th + SiO₂/Fe₂O₃. Первый комплекс отражает зависимость обогащения средними редкими землями с показателями солёности и карбонатизации, что можно интерпретировать, как хемогенное накопление средних лантаноидов структурами карбонатов в морских условиях (Скляр, 2004; Мейнард, 1985; Балашов, 1976). Второй комплекс представленный U/Th и SiO₂/Fe₂O₃, которые традиционно рассматриваются как показатели окисления и общей терригенной нагрузки, соответственно, (Юдович, 2011), интерпретируются как признак континентальности. Таким образом, структура данного фактора отражает условия осадконакопления в морском (положительные значения) или континентальном (отрицательные значения) бассейне.

Третий фактор (ГФ3) демонстрирует обратную связь Fe/Mn по отношению к Ce/Ce*, Mn/U и U/Th. При этом Fe/Mn фиксирует положение осадков на фаціальном профиле бассейна (Яночкина, 1966; Маслов, 2005). Комплекс отношений Ce/Ce* + Mn/U + U/Th содержит в себе элементы переменной валентности, что позволяет рассматривать его как показатель Eh (Дубинин, 2006). Исходя из этого, предлагается положительные значения фактора интерпретировать как показатель окислительных обстановок, а отрицательные – восстановительных.

Четвёртый фактор (ГФ4) характеризуется отрицательной корреляцией Mn/U по отношению к Ce/Ce*, Sr/Ba и U/Th. Mn/U, как отмечалось выше, фиксирует процесс карбонатизации в зависимости от активности CO₂ (Мейнард, 1985; Батулин, 2004), что в совокупности показателей Eh (Ce/Ce*, U/Th) и солёности бассейна седиментации (Sr/Ba) может быть интерпретировано как проявление карбонатизации в зависимости от pH среды. При этом его положительные значения отвечают щелочным условиям, а отрицательные - кислым.

Абсолютные значения выделенных факторов характеризуются наличием четких корреляционных зависимостей с характером распределения основных петрогенных

окислов и особенностями минерального состава пород. Таким образом, приведенная интерпретация учитывает взаимосвязь изменения окислительно-восстановительного потенциала, кислотно-щелочности среды и уровня солености бассейна седиментации с геохимическими характеристиками осадков, а также их валовым составом и особенностями аутигенной минерализации. Это позволяет разработать модель дискриминации геохимических фаций на основании абсолютных значений факторных нагрузок основных геохимических и петрохимических характеристик (рис. 4).

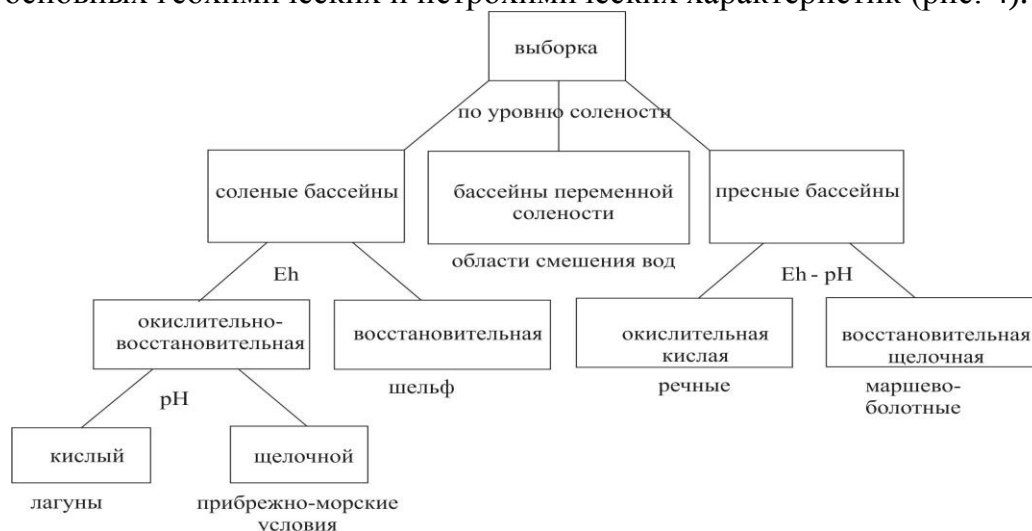
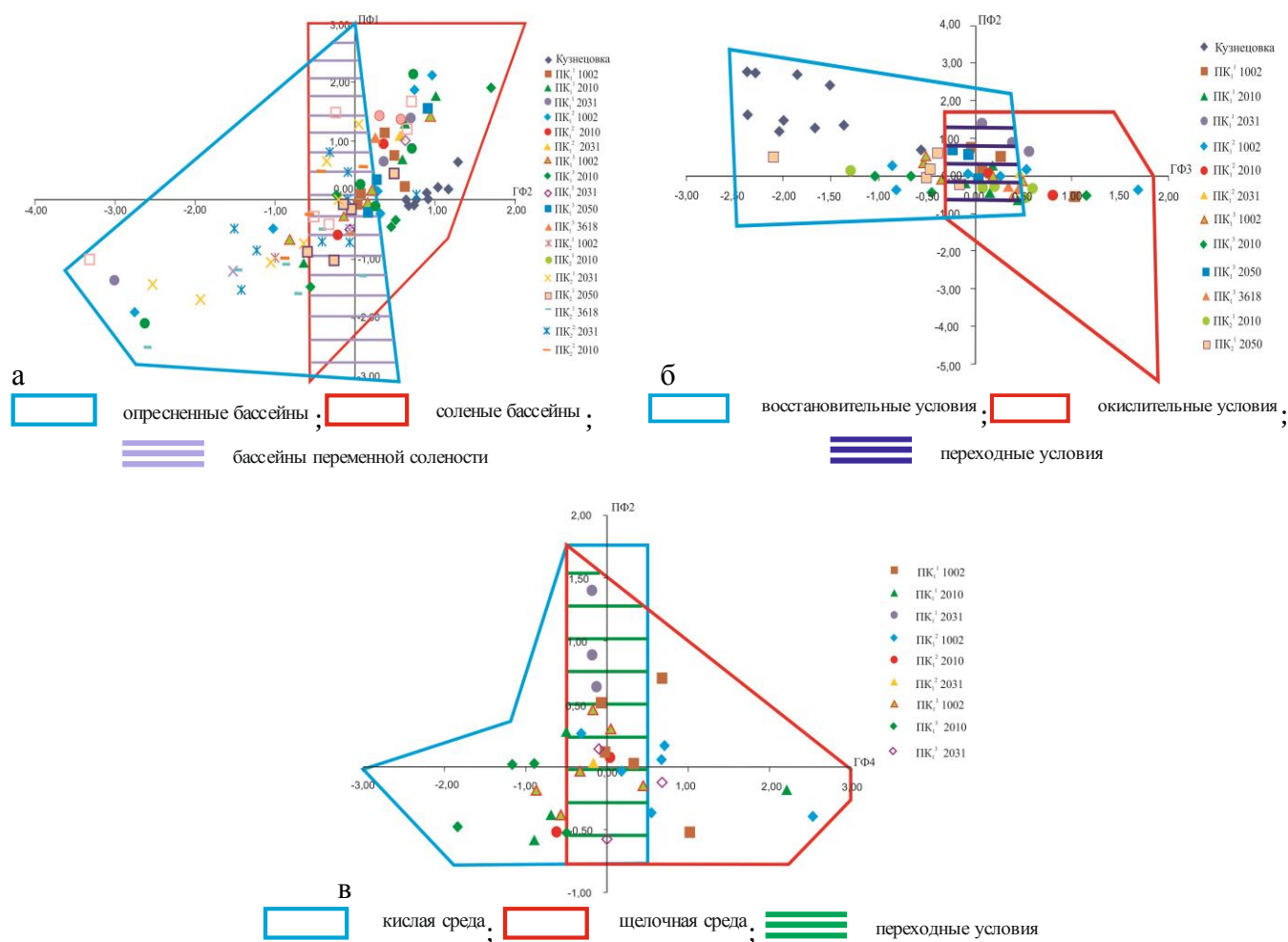


Рисунок 4 – Схема последовательного разделения выборки на геохимические фации

Первым шагом при выделении литогеохимических фаций является разделение морских и континентальных отложений по уровню солености среды седиментации (рис. 5а). Приведенные выше исследования показали, что эти параметры отражаются в структурах фактора ГФ2 и компоненты ПФ1, фиксирующих степень прибрежно-морской карбонатизации.

Дискретное распределение значений факторных нагрузок по этим компонентам позволяет выделить группы фаций *соленых бассейнов* (морских и прибрежно-морских: ГФ2 = от 2,0 до 0,5 и ПФ1 = от 0 до 2,5), *бассейнов переменной солености* (область взаимодействия морских и пресных вод: ГФ2 = от 0,5 до -0,5 и ПФ1 от -2 до 2) и *опресненных бассейнов* (континентальных: ГФ2 = от -0,5 до -3 и ПФ1 = от 0 до -3). 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. 5 б, в). Так в по значениям нагрузок компонент ГФ3 и ПФ2 в соленых бассейнах выделяются осадки, сформированные, как в восстановительных условиях (ГФ3= от -0,5 до -2,5; ПФ2=-2 – 2), так и в режиме метастабильных колебаний окислительно-восстановительного потенциала (ГФ3=-0,5 – -2,5; ПФ2=-2 – 2). При этом для восстановительных фаций характерна повышенная щелочность среды (ГФ4=0,5 – 3, ПФ2=-1–2,5), что позволяет сопоставлять их с морскими обстановками *ближнего шельфа*. Дискретное распределение значений ГФ4 и ПФ2 установленное в осадках с переменным окислительно-восстановительным потенциалом позволяют предполагать, что щелочная среда реализуется в условиях формирования *барьерных систем прибрежно-морской области*. В то время как, кислые воды характеризуют частично изолированные бассейны повышенной солености (лагуны), где вариативность Eh связывается с термодинамической неоднородностью зоны седиментации, которая

выражается в выделении гумусовых кислот, при разложении органического вещества и, как следствие, подкисление придонных вод на общем восстановительном фоне.



и ПК₁³. Осадки лагун распространены в южной части структуры пачек ПК₁³, ПК₁² – ПК₁¹. Отложения шельфовых и прибрежно-морских зон слагают различные уровни пачек ПК₂², ПК₂¹, ПК₁³ и ПК₁² + ПК₁¹. Области смешения пресных и морских вод отмечаются практически в каждой пачке, подчеркивая сложный гидродинамический режим формирования осадка.

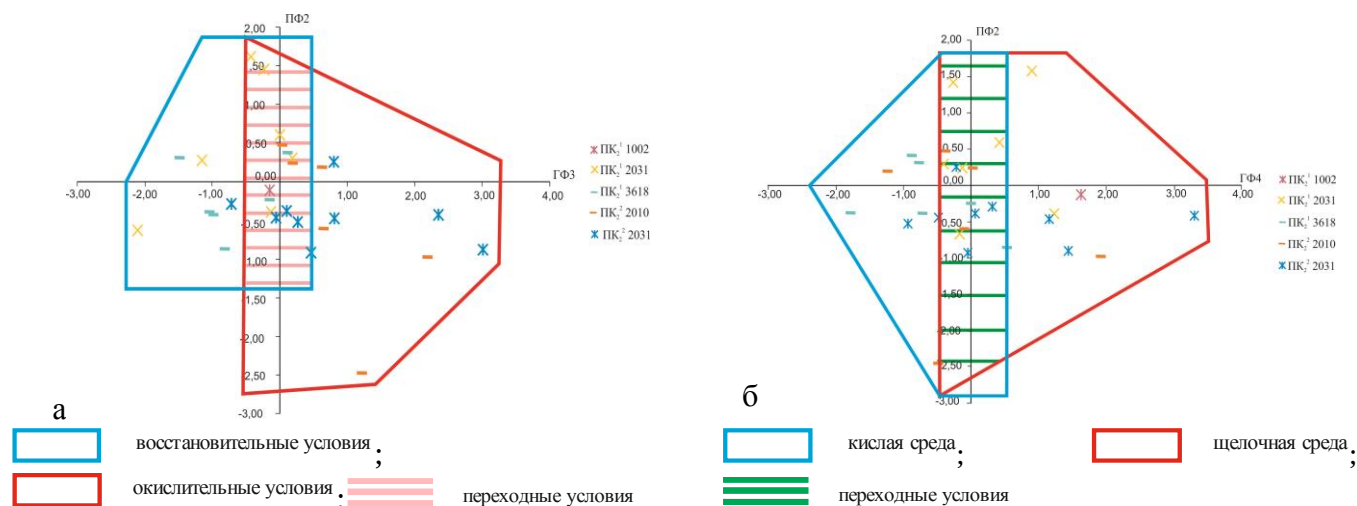


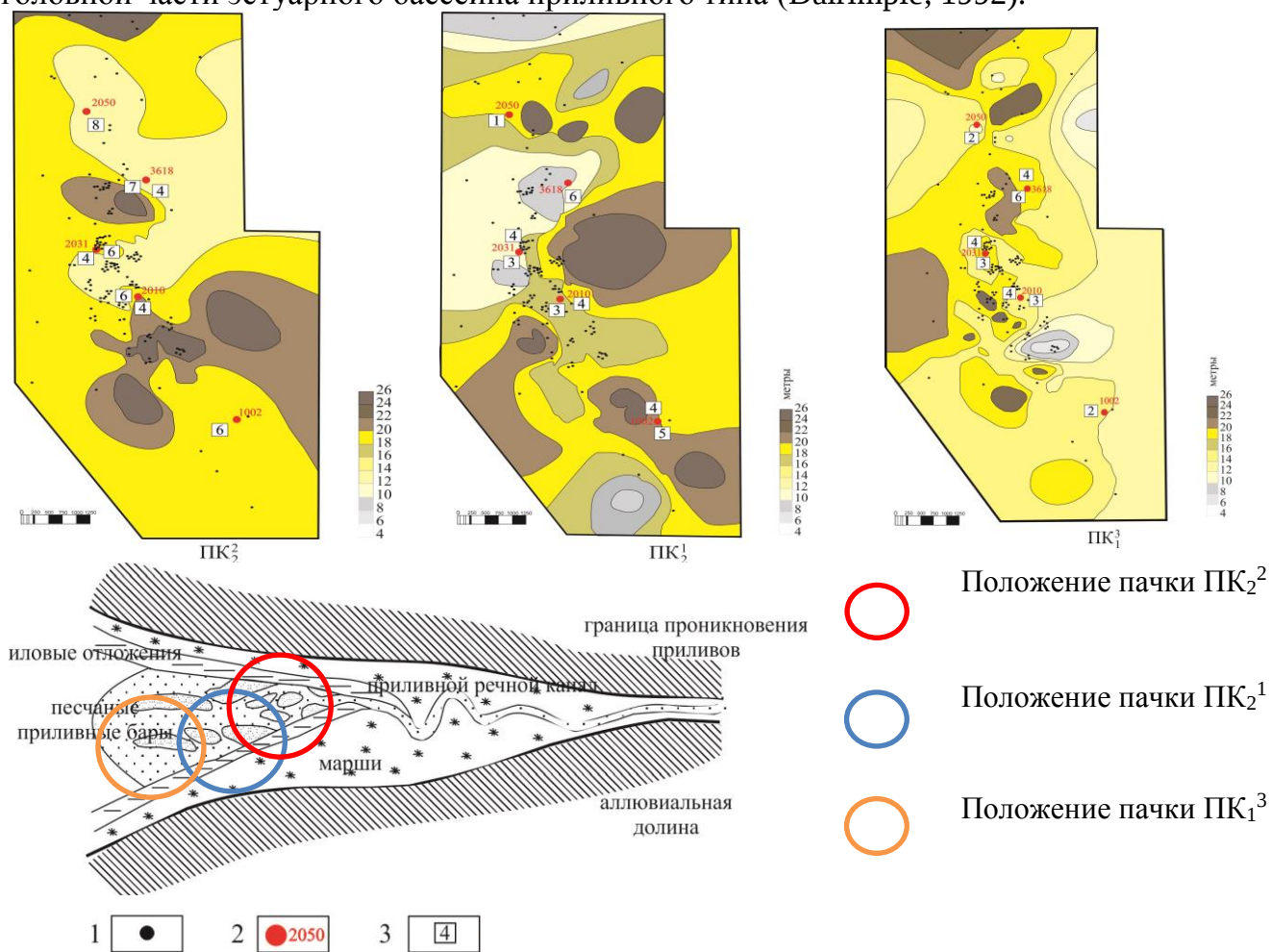
Рисунок 6 – Дискриминационные диаграммы для опресненных бассейнов: а — ранжирование по показателю Eh (ГФ3 – ПФ2); в – ранжирование по показателю pH (ГФ4–ПФ2)

Не смотря на хорошую сходимость результатов локальной корреляции разрезов, в работах Г.Н. Александровой, В.Б. Белозерова, В.М. Подобиной существуют разногласия в интерпретации палеогеографических условий формирования пластов ПК₁-2. В этой связи была предпринята попытка реконструкции морфологии песчаных тел на основе интерпретации ГИС. В пределах разрезов каждой из пачек ПК₁¹, ПК₁², ПК₁³, ПК₂¹ и ПК₂² была рассчитана суммарная мощность литотипов со значениями самопроизвольной поляризации (ПС) более 0,5, что (Муромцев, 1984) соответствует песчаникам. По полученным параметрам были построены карты изопакит, отражающие морфологию и особенности распределения псаммитовых тел (рис. 7, 8). Также на эти карты были нанесены выделенные петрогеохимические фации.

Фациальные особенности осадконакопления пачки ПК₂² проанализированы по трем разрезам скв. № 2010, 2031, 1002. Для пачки ПК₂² положение петрогеохимических фаций демонстрирует дискретный характер распределения речных фаций и областей смешения вод, что в совокупности с рядом веерно расположенных песчаных тел северо-западного раскрытия центральной части и единичными песчаными телами, разделенными проливами, на севере. Позволяет относить эти образования к конусам выноса и песчаным приливным барам (рис. 7а). Сочетание таких обстановок может быть реализовано в головной части эстуарного бассейна (Dalrimple, 1992).

Фациальная неоднородность пачки ПК₂¹ изучена на основании пяти разрезов скв. № 1002, 3618, 2031, 2010, 2050. Распределение петрогеохимических фаций определяется следующими особенностями: южному сегменту (скв. № 1002) соответствует сочетание областей смешения вод и речных фаций; на севере вскрыты морские фации (скв. № 2050), северо-восток охарактеризован маршево-болотными зонами (скв. № 3618); в центральной части (скв. № 2031 и 2010) обнаруживается тесная ассоциация прибрежно-морских фаций и областей смешения вод. Морфология песчаных тел характеризуется наличием крупных песчаных тел в центральной и южной частях площади, разделенных проливом, при этом отмечается смена ориентировки тел с северо-западной на юго-восточную. Таким образом, сочетание дельтовых фаций и

приливных песчаных баров, на фоне развития областей встречных потоков и маршево-болотных зон (рис. 7б), позволяют сделать вывод о формировании пачки ПК₂¹ в головной части эстуарного бассейна приливного типа (Dalrimple, 1992).



Условные обозначения: 1 – скважины без отбора керна; 2 – опорные скважины с выносом керна; петрогеохимические фации 1–шельфовая зона; 2–лагуна; 3–прибрежно-морские фации; 4–области смешения вод; 5–речные фации; 6–маршево-болотные зоны.

Рисунок 7 – Карта общей песчанистости для пачек ПК₂², ПК₂¹, ПК₁³ (авторы Белозеров В.Б., Архипов А.Л., Файенгерц А.В., 2012 г.)

Фациальные неоднородности осадконакопления пласта ПК₁³ описаны по пяти опорным разрезам скв. № 1002, 2031, 2010, 3618 и 2050. При этом в южной и северной частях площади (скв. № 2050 и 1002) отмечается развитие лагунных фаций. В центральной части структуры (скв. № 2031, 2010) отмечается сочетание прибрежно-морских зон и областей смешения вод, а на северо-востоке (скв. № 3618) вскрыты маршево-болотные фации. В морфологическом плане песчаные тела образуют две группы: в центральной части располагаются мелкие бары, а в северной и восточной частях отмечаются крупные острова.

Совокупность вышеперечисленных обстановок и фаций позволяет предполагать, что формирование пачки ПК₁³ происходило в центральных частях эстуарного бассейна, которая характеризуется появлением ряда песчаных островов, носящих временный характер и подвергаемых размыву. Их появление ведет к образованию полузакрытых бассейнов лагунного характера. По общей направленности фациальной изменчивости, можно заключить, что приливной эстуарий приобретает черты приливно-волнового бассейна (Dalrymple et al., 1992).

Вертикальные вариации фациальной неоднородности для пачки $ПК_1^2+ПК_1^1$ описаны на основании трех разрезов скважин № 1002, 2031, 2010. Распределение петрогеохимических фаций фиксирует приуроченность лагунных фаций к югу структуры (скв. № 1002), для центра структуры (скв. № 2031, 2010) характерно сочетание прибрежно-морских обстановок и областей смешения вод. Пачка отличается появлением в центральной части структуры мощных песчаных тел, предположительно представляющих собой барьерные баровые постройки (рис. 8). Совокупность обстановок и фаций, установленных для пачки $ПК_1^2+ПК_1^1$, может быть реализована в устьевой части эстуарного бассейна волнового типа, который характеризуется наличием полуизолированного бассейна с частично застойным режимом и зоны размываемых береговых баров и валов (Dalrymple, 1992; Perillo, 1995).



Условные обозначения см. рис. 7

Рисунок 8 – Карта общей песчанистости для пачки $ПК_1^2 + ПК_1^1$ (авторы Белозеров В.Б., Архипов А.Л., Файенгерц А.В., 2012 г.)

На основании совокупного анализа морфологии песчаных образований и распределения в пространстве петрогеохимических фаций, можно заключить, что исследуемый бассейн осадконакопления является эстуарием, а его временное развитие предполагает выделение трех последовательных этапов приливного, приливно-волнового и волнового.

Заключение

1. Исследования химического состава показали, что основная неоднородность выборки определяется характером распределения CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 , это отражает литологические особенности пород, обусловленные их минералогическим составом. При этом, соотношение оксидов кремния и алюминия рассматривается, как показатели зрелости осадков, а концентрации железа и кальция отражают и син-, эпигенетическую минерализацию на фоне изменения окислительно-восстановительных условий среды седиментации.

2. Петрогеохимическая вертикальная неоднородность подчеркивается распределением следующих показателей: Fe_2O_3 , Al_2O_3 , $\sum TR$, Mn/U и модуля нормативной щелочности (НKM). Вариации этих параметров отвечают различным палеофациальным уровням и фиксируют цикличность условий седиментации, которая наиболее четко выражается в изменении Mn/U и НKM. Полученное расчленение разреза (рис. 2) практически идентично ранее выделенным геологическим единицам (Г.Н. Александрова и др, 2010; В.Б. Белозеров, 2012)

3. Геохимическая аттестация позволила выявить, что уровень и характер накопления микроэлементов обусловлен вариативностью окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий формирования осадка. При этом концентрирование Mn и U фиксирует процессы карбонатизации и фосфатизации; общий уровень накопления лантаноидов (ΣTR) подчеркивает механическую дифференциацию осадков и уменьшается в ряду от континентальных к морским отложениям. Отношения U/Th, Ce/Ce*, Sr/Ba и Fe/Mn, позволяют на качественном уровне определить pH-Eh режим седиментации и более четко разграничивать морские и речные образования, а значения SiO₂/Fe₂O₃, Ti/Zr отражают степень выветривания исходных пород.

4. Взаимные вариации петрогенных оксидов, установленные при факторном анализе, отражают минералогическую неоднородность осадков, выраженные в составе соотношения карбонатной, терригенной и глинистой составляющих. Выявленные противопоставления петрогенных оксидов, соответствующих конкретным минеральным комплексам (кварц-карбонаты, магнетит + рутил (ильменит) + каолинит-монтмориллонит + карбонаты, кварц-каолинит+гидрослюда, полевые шпаты-каолинит+гидрослюда), могут являться следствием изменений физико-химических параметров и фациальных условий седиментации.

5. Взаимные изменения статистических значений геохимических модулей в большей степени определяются физико-химическими условиями осадконакопления и отражают степень минерализации бассейна седиментации, а также pH и Eh режимы бассейна седиментации. Их учет в соотношении с особенностями валового химического и минерального состава осадков позволяет провести петрогеохимическую диагностику фаций русел, маршей и болот, лагун, ближнего шельфа, прибрежно-морских областей и зон смешения вод.

6. На основании анализа морфологии и распределения песчаных образований и их сопоставления с выделенными петрогеохимическими фациями установлена временная геоморфологическая и гидродинамическая эволюция эстуарного бассейна: формирование пачек ПК₂², ПК₂¹ происходило в головной части бассейна приливного типа; ПК₁³ фиксирует среднюю часть бассейна, характеризующегося двойственной (приливно-волновой) природой, ПК₁² + ПК₁¹ – устьевая часть эстуария волнового типа.

7. Установленные в пределах Ваньеганской структуры петрогеохимические параметры позволяют проводить диагностику фаций на основании исследования шлама. Предложенный алгоритм может быть использован для ряда других объектов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы, опубликованные в изданиях, входящих в перечень ВАК:

1)Афонин И.В. Литофациальный анализ и палеогеографические реконструкции верхнесеноманских отложений горизонта ПК 1-2 (покурская свита, Ван-Еганское месторождение, Западная Сибирь) / О.В. Бетхер, И.В. Афонин, Д.А. Ивлев // Вестник Томского государственного университета. – 2014. – № 386. – С. 201–208.

2)Афонин И.В. Петрогеохимическая неоднородность и расчленение верхнесеноманских отложений Ван-Еганского месторождения (Западная Сибирь) / И.В. Афонин, П.А. Тишин, Г.М. Татьянин, Д.А. Ивлев // Вестник томского государственного университета.– 2014. – № 387. – С. 217–224.

3)Афонин И.В. Геохимические неоднородности палеозэстуарного бассейна Ваньеганской структуры (Западная Сибирь) / И.В. Афонин, П.А. Тишин, Г.М. Татьянин, Д.А. Ивлев// Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – №2. – С. 14-22.

Работы, опубликованные в других изданиях:

- 4)Афонин И.В.** Геохимические особенности пород неокома Западно-Сибирской плиты на примере ачимовской толщи // Комплексное изучение и оценка месторождений твердых полезных ископаемых. Тезисы докладов третьей научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – М.: ФГУП «ВИМС», 2011, С. 120
- 5)Афонин И.В.** Геохимические особенности клиноформного ачимовского комплекса (Уренгойский район) // Современные проблемы геохимии: Материалы конференции молодых ученых – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. - С.18-22
- 6)Afonin I.V.** Geochemical heterogeneity of the clinoform sequence by the example of neocomian sediments of the West Siberian plate / I.V. Afonin, G.M. Tatyagin, P.A. Tishin // Mineralogical Magazine. –v. 75 (3). – 2011. – P. 411
- 7)Афонин И.В.** Geochemical heterogeneity of the aptian-cenomanian sediments of western siberia on the example of the pokurskaya suite of the south varieganskian bar // The 6th International Siberian Early Career Geoscientists Conference: Proceedings of the Conference (9-23 June 2012, Novosibirsk, Russia). IGM, IPPG SB RAS & NSU – Novosibirsk, 2012. -P. 91
- 8)Афонин И.В.** Литогеохимические особенности сеноманских осадков на примере покурской свиты одного из месторождений Нижневартовского свода (Западная Сибирь) / VI открытая региональная молодёжная конференция ОАО «ТомскНИПИнефть» «Проблемы разведки, разработки и обустройства месторождений нефти и газа», 2013. – С. 107-112
- 9)Афонин И.В.** Строение и гидрогеохимические условия формирования покурской свиты на примере одного из месторождений Нижневартовского свода (Западная Сибирь) / III Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского. – СПб.: ФГУП «ВСЕГЕИ», 2013, С. 352-354
- 10)Afonin I.V.** Geochemistry of ancient estuarine deposits on the example of pokurskaya suite sediments(West Siberia) / I.V. Afonin, G.M. Tatyagin, P.A. Tishin // Mineralogical Magazine. - v.77 (5). - 2013. - P. 559
- 11)Афонин И.В.** Геохимические неоднородности верхнесеноманских осадков Ваньеганской структуры (Западная Сибирь) // Науки о Земле. Современное состояние. Материалы II всероссийской молодежной научно практической школы-конференции. – Новосибирск: НГУ, 2014, С. 91-93
- 12)Афонин И.В.** Петрогеохимические особенности покурской свиты Ван-Еганского месторождения (Западная Сибирь) /И.В. Афонин, Е.И. Никитина // Геология в развивающемся мире: сборник научных трудов (по материалам VIII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием). – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, Т. 1, 2015, С. 78-82
- 13)Афонин И.В.** Геохимические особенности и корреляция осадочных толщ на примере покурской свиты Ван-Еганского месторождения (Западная Сибирь) // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, Т. 1, 2015, С. 86-87
- 14)Afonin I.V.** Lithological and geochemical facies of paleoestuary basins on the example of Senomanian sediments of the Vaniegansk structure (Western Siberia)/ I.V. Afonin, A.D. Ivlev //15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015. Sofia, Bulgaria, Vol. I. Geology, Mineral processing, oil and gas exploration, 2015, P. 261-267.

Подписано в печать 12.01.2017 г.
Формат А4/2. Лазерная печать.
Тираж 100 экз. Заказ №12/01-01
Отпечатано в типографии «Аквамарин»
634050 г. Томск, ул. Московский тракт 2г

